

明 細 書

接合方法及びこの方法により作成されるデバイス並びに表面活性化装置
及びこの装置を備えた接合装置

技術分野

[0001] 本発明は、ウェハーなどの複数の被接合物をプラズマによる親水化処理により張り合わせる技術に関する。

背景技術

[0002] 従来、Siとガラス、 SiO_2 または SiO_2 同士のウェハー接合において、酸素プラズマを使用して表面を親水化処理し、水素結合させ、アニーリングにより強固に接合させる方法が知られている。従来方式では表面の洗浄はウエット処理であるので、大気中を搬送して真空チャンバー中で酸素プラズマにより親水化処理することになる。それをまた、大気中に取り出し、ウェハー同士を張り合わせることで水素結合されるが、強度は図9に示すように3MPaと弱い。そのため加熱するが400℃程度では5MPa程度にしか上がらず、結局1100℃という高温で拡散接合させ、強度をアップさせている。すなわち、酸素プラズマによる水素結合は仮接合にしかない。

[0003] また、特許文献1に示す方法では金属同士をArイオンビームによりエッチングし、表面活性化させた状態で常温で接合する例が示されている。しかし、この方法では、表面の有機物や酸化膜を除去して金属の電氣的活性化された面を作りだし原子間力により接合するため、半導体であるSi、セラミックや特に酸化物であるガラスや SiO_2 は強固に接合できない。

[0004] また、特許文献2に示すように被接合物を対向配置し、プラズマ処理した場合には、必ずどちらかの被接合物側がプラズマ電極となり、反応ガスイオンが加速されて衝突するため、有機物層を取り除く物理的なエッチングには適するがOH基などの化学処理には強すぎて向かない。

[0005] また、大気圧プラズマを使用する方法が考えられるが、大気であるためイオンの加速が行われないため、イオン衝突力は弱く、化学処理で表面活性化することはできるが、初期にある有機物層などを物理的なエッチングにより洗浄除去することができない。

ため、有機物層を含んだ接合となり、強度が弱い。

[0006] 特許文献1:特開昭54-124853

特許文献2:特開2003-318217

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0007] 従来の方法ではいくら事前に被接合物を洗浄しても大気に触れるため、表面には少なくとも幾らかは有機物や他の付着物が再付着しており、酸素プラズマによる親水化処理はあくまで表面の有機物の表面改質によりOH基を作り出し、両表面のOH基により水素結合させていることになる。これでは拡散以前の低温でのアニーリング程度では有機物層があるため強度は上がらない。そのため、1100℃という高温で拡散させてしまい、有機物層も一緒に基材と混ぜ合わせてしまい結晶中に取り込む方法で強度アップさせるしか手がないわけである。

[0008] また、特許文献1に示す方法では、表面の有機物や酸化膜を除去して金属や半導体の電気的活性化された面を作りだし原子間力により接合するため、金属以外のSi半導体や特に酸化物であるガラスやSiO₂は強固に接合できない。

[0009] そこで本発明の課題は、被接合物同士を低温で固層で接合する方法において、両被接合物を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるエネルギー波により物理処理する物理処理工程の後、イオン衝突力の弱いプラズマにて化学処理する化学処理工程を行い、両被接合物を接合する方法及び装置を提供することにある。

[0010] また、被接合物表面にOH基などにより表面活性化し、両接合面を密着させ接合する方法において、従来方式では表面の処理は酸素プラズマにて親水化処理し、大気中でウェハー同士を張り合わせることで水素結合されるが、プラズマ処理が通常の方法では強すぎ、OH基を接合表面にきれいに並べることができず、ぬけや欠けが生じてしまう。また、被接合物表面を荒らしてしまい隙間となって接合できない部分も生じてしまう。そのため、図9に示すように強度は3MPaと弱い。加熱しても100℃程度では4MPa程度にしか上がらず、400℃以上という高温で強度をアップさせている。従来の方法では強固に接合させるためには高温加熱がどうしても必要となり、異種材料間での熱膨張差によるひずみや高温に耐えられないデバイスなどの接合には

課題があった。図9に示す引っ張り強度は、測定方法により値に違いが出るが、ここでは、9MPaを十分な強度、8MPaを使用可能なレベルとする。

[0011] また、大気圧プラズマを使用する方法では、大気であるためイオンの加速が行われないため、イオン衝突力は弱く、付着層をつけることはできるが、初期にある有機物層などをエッチングにより洗浄除去することができないため、有機物層を含んだ接合となり、強度が弱くなる。

[0012] また、特許文献2に示すように被接合物を対向配置し、プラズマ処理した場合には、必ずどちらかの被接合物側がプラズマ電極となり、反応ガスイオンが加速されて衝突するため、有機物層を取り除く物理的エッチングには適するがOH基などの化学処理による表面活性化には強すぎて向かない。以上のように洗浄と吸着の双方を満足する方法は無い。

課題を解決するための手段

[0013] エネルギー波による表面活性化処理とは、原子ビーム、イオンビームまたはプラズマで接合界面を活性化状態にして接合しやすくする処理を示す。表面活性化による接合原理は次の考え方ができる。金属のような物質においては表面の有機物や酸化膜など付着物をエッチング除去して、活性な金属原子のダングリングボンドを表面に生成することで、他方のダングリングボンド同士で接合させる。また、Siまたはガラス、 SiO_2 、セラミック系を含む酸化物である場合は、酸素や窒素プラズマによる親水化処理により、接合表面をOH基で活性化し、他方のOH基同士で接合させる。プラズマの場合は減圧プラズマ以外にも大気圧下で処理できる大気圧プラズマもあり容易に扱える。

[0014] 本発明はこれらの接合原理に従い、エネルギー波により表面活性化した後、接合することにより、より低温で、かつ、接合強度をアップすることである。本発明での特徴は表面活性化する工程において、イオン衝突による物理処理を高めた処理とイオン衝突力を弱めてラジカルを多くした状態にて化学処理を促進する処理に連続して切り替えることにより、OH基の付着を効率よく増進させ、親水化処理することにある。

[0015] 物理処理とは、表面層がエッチングされる現象、及びイオン分子が表面層に衝突することにより表面分子と置き換わる現象や表面に付着する現象を示す。例えばAr

プラズマによりArイオンが付着層をエッチングする行為であり、また、酸素プラズマにおいて酸素イオンが表面層と置き換わったり付着することを示す。化学処理とは、活性なラジカルやイオン衝突力の弱まった活性なイオンにより表面層が化学反応により処理される現象を示す。

- [0016] 例えば、Arプラズマ処理後、酸素プラズマ処理を行えば、原始重量の大きいArによりエッチングされ、酸素プラズマにより、活性な酸素による化学反応によりOH基の付着が行われる。また、同じ酸素プラズマを使用した場合においても初期のイオン衝突力を高める処理でエッチングにより不純物を除去すると同時にイオン衝突により表面層と入れ替わることで酸素を付着させ、OH基の付着できる元を作る。このままでもOH基はある程度付着しているが、イオン衝突力が強すぎ、あるところでは剥がれてしまう。次にイオン衝突力を弱め、衝突力の弱い活性なイオンやラジカルが多い化学処理をすることによりOH基の付着が効率良く増進される。
- [0017] この原理に基づき、上記課題を解決するための本発明に係る接合方法及び表面活性化装置双方の手段を一括して以降に説明する。
- [0018] 上記課題を解決するために本発明に係る接合方法は、被接合物同士の接合面をプラズマにて親水化处理して500℃以内で固層で接合する接合方法において、両被接合物を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるイオン衝突力の強いエネルギー波により物理処理する物理処理工程の後、イオン衝突力の弱いプラズマにて化学処理する化学処理工程を行い、両被接合物を接合する接合方法からなる(請求項1)。
- [0019] また本発明に係る表面活性化装置は、被接合物同士の接合面をプラズマにて親水化处理して500℃以内で固層で接合するものにおいて、エネルギー波照射手段及び／またはプラズマ照射手段を備え、両被接合物を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるイオン衝突力の強いエネルギー波により物理処理する物理処理工程の後、イオン衝突力の弱いプラズマにて化学処理する化学処理工程を行う表面活性化装置からなる(請求項20)。
- [0020] エネルギー波により表面をエッチングし、付着物を除去し、基材の新生面が露出した状態で、酸素や窒素などの反応ガスでプラズマによる化学処理で親水化处理する

ことで、有機物層を伴わない親水化処理ができる。そのため、水素結合力による接合後の強度やアニーリング後の強度も弱い有機物層からの剥がれが無い場合、拡散させなくとも水素結合後の H_2O を放出させるための低温でのアニーリングのみで十分な接合強度を得ることが可能となる。

- [0021] なお、前記エネルギー波によりエッチングする量は1nm以上であることが好ましい。被接合物表面に存在する付着物はウェット洗浄後においても大気に暴露すると数秒で1nm以上付着することから少なくとも1nm以上エッチングすることが有効である。
- [0022] また本発明は、前記物理処理工程のエネルギー照射手段がプラズマである請求項1に記載の接合方法からなる(請求項2)。
- [0023] また本発明は、前記物理処理工程のエネルギー照射手段がプラズマである請求項20に記載の表面活性化装置からなる(請求項21)。
- [0024] エネルギー波照射手段がプラズマであれば、他のエネルギー波に比べて容易でコストのかからない手段であり、化学処理工程と同じ手段を用いることができるので簡易であり、1チャンバーで済ますこともできる。
- [0025] また本発明は、前記化学処理工程の反応ガスが酸素または窒素である請求項1または2に記載の接合方法からなる(請求項3)。
- [0026] また本発明は、前記化学処理工程の反応ガスが酸素または窒素である項20または21に記載の表面活性化装置からなる(請求項22)。
- [0027] 化学処理工程で使用するプラズマとしては、酸素を使用することでOH基が付着し易くなり好適である。また、窒素を使用しても同様にOH基を付着させることができる。
- [0028] また本発明は、前記物理処理工程の後、さらに真空引きした後、前記化学処理工程を行う請求項1〜3のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項4)。
- [0029] また本発明は、前記物理処理工程の後、さらに真空引きした後、前記化学処理工程を行う請求項20〜22のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項23)。
- [0030] Arプラズマによりエッチングした状態では表面にAr原子が付着していたり、表面層に打ち込まれていたたりする場合がある。また、 CF_4 プラズマでエッチングした場合も表面層にF(フッ素)が付着している場合がある。エッチング後にプラズマ発生領域よりさ

らに真空引きすることでArやF(フッ素)を放出し、真空引きすることで取り除くことができ、より有効である。また、同時に100℃程度に加熱してやればさらに効果が高い。真空引き後は、反応ガスを充填し、再度プラズマがたつ真空度に上げてやれば良い。

[0031] また本発明は、化学処理時または処理後、 H_2O またはH、OH基を含むガスを混入させた後、接合する請求項1〜4のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項5)。

[0032] また本発明は、水ガス発生手段を備え、化学処理時または処理後、 H_2O またはH、OH基を含むガスを混入させた後、接合する項20〜23のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項24)。

[0033] H_2O またはH、OH基を含むガスを水ガスとも呼ぶ。通常酸素プラズマにより処理し、大気中を搬送されると雰囲気中には水分が含まれるため、自然にOH基が作られるが、不純物や有機物の付着を避けるために真空中で大気に暴露することなく接合まで進める場合には、水分が不足してOH基が十分作られない場合が生じる。そのため、酸素プラズマ処理時または処理後接合までの間に H_2O またはH、OH基を含むガスを供給することが有効である。水ガスをそのまま供給することもできるが、水ガスを酸素に混入するか、酸素プラズマ処理後、連続して水ガスを反応ガスとしてプラズマ処理してやることで活性化し、より有効である。

[0034] また本発明は、前記物理処理工程の反応ガスが化学処理工程と異なるガスであり、Arまたは CF_4 である請求項1〜5のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項6)。

[0035] また本発明は、前記物理処理工程の反応ガスが化学処理工程と異なるガスであり、Arまたは CF_4 である請求項20〜24のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項25)。

[0036] 物理処理工程で使用するプラズマとしては不活性であるArを使用すればどのような素材に対しても影響なく、原子重量も大きいのでイオン衝突力も高く好適である。また、化学処理工程において酸素や窒素を使用すれば物理処理工程のArの方が原始重量が大きいことからイオン衝突力が高くなり、化学処理工程においてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進することになる。また、被接合物の少なくとも一方がSi、

SiO₂、ガラス、セラミックである場合には、プラズマ反応ガスとしてCF₄を使用すると効率よく素材をエッチングすることができ、物理処理工程に適する。

[0037] また本発明は、前記物理処理工程と前記化学処理工程を大気に暴露することなく行う項1〜6のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項7)。

[0038] また本発明は、前記物理処理工程と前記化学処理工程を大気に暴露することなく行う項20〜25のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項26)。

[0039] エネルギー波により表面をエッチングし、付着物を除去し、基材の新生面が露出した状態で、大気に暴露することなく、プラズマによる親水化处理することで、大気に触れて再付着することなく、より有機物層を伴わない親水化处理ができる。

[0040] 図9に示すように、従来の大気搬送後の酸素プラズマ処理で接合する方法では常温で3MPaの接合強度で400℃で5MPa、1100℃で10MPaとなっている。これは大気搬送中に有機物が付着し、有機物層を含んだ接合面を含むため接合強度が上がらず、拡散によってのみ強度アップしている。しかし、真空中でArエッチングによるプラズマ処理後、大気に暴露することなく引き続き酸素プラズマにより親水化处理されたものは、常温でも6MPaの接合強度であり、200℃で8MPa、400℃で9MPaと1100℃の拡散接合と同等程度の十分な接合強度を得ることができた。200℃でも十分な接合強度であるが、400℃の方がより好ましい。ちなみに、Arイオンビーム処理後の高真空中での接合強度を測定すると常温で5MPa、400℃加熱してもそのままと接合強度が従来方法以上に上がらないことが分かる。

[0041] なお、エネルギー波がプラズマであり、両被接合物を同じ真空チャンバー内に対向配置し、プラズマによる物理処理工程後、プラズマによる化学処理工程を同じチャンバー内で連続して行う接合方法及び表面活性化装置でもよい。

[0042] エネルギー波によるドライ洗浄と酸素プラズマ処理を行うチャンバーを分割してハンドリングすることも可能であるが、同じチャンバー内でArガスによるArプラズマエッチング後、酸素ガスに置換して連続して親水化处理を行うことで再付着の可能性がなくなることで、1チャンバーで済むのでコンパクト、コストダウンにつながる。また、エネルギー波がプラズマであれば酸素プラズマの親水化处理と同じ装置がそのまま使え効率的である。また、他のエネルギー波に比べ高真空まで引く必要が無い。

- [0043] さらに、前記プラズマが交番電源を用いる接合方法及び表面活性化装置であつてもよい。交番電源を用いることにより、プラスイオンとマイナス電子が交互に被接合物表面にあたるため、中和され、他のエネルギー波に比べチャージアップなどのダメージが少ない。そのため、半導体や各デバイスには好適である。
- [0044] また本発明は、イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段を備え、プラズマ処理後半においてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進する請求項2〜5のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項8)。
- [0045] また本発明は、イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段を備え、プラズマ処理後半においてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進する請求項21〜24のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項27)。
- [0046] プラズマ処理による親水化処理する工程をプラズマ処理後半においてイオン衝突力を弱めてプラズマ処理を行うことにより、通常のプラズマ処理においては物理処理により不純物を除去し、化学処理により表面にOH基を付けて並べたり、窒素などの置換が行われるが、せっかく表面が化学処理されてもイオン衝突力が強いので除去され、表面を均一に化学処理することは難しい。
- [0047] そこで、プラズマ処理後半において、イオン衝突力を弱めてプラズマ処理することにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に化学処理を行い、表面活性化処理を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができる。低温とは、従来方法では400℃以上必要であり、それ以下である400℃以内で接合できるので好ましい。
- [0048] なお、前記接合温度が200℃以下である接合方法及び表面活性化装置であつてもよい。図9に示すように200℃での接合が可能であり、より好ましい。また、プラズマ処理後半とは時間的に半分とは限らず時間に関係しない意味を持つ。また、プラズマ処理前半と後半は間隔があっても良いが、連続された方が化学処理上好ましい。特に、本請求項8, 27以前において、物理処理とはOH基を付着させる前処理として不純物を除去するためのエッチングであるが、本請求項8, 27においては、OH基を付着させる工程において、イオン衝突力を切り替えることにより、物理処理により酸素を付着させ、化学処理によりOH基付着を増進させることであり、効率良くOH基を付

着させることを目的とする。

- [0049] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、プラズマ電極を被接合物保持電極と対向面電極の2箇所に切り替え可能に配置したものからなり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行い、次いで対向面電極側に電源を印加してイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法からなる(請求項9)。
- [0050] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、プラズマ電極を被接合物保持電極と対向面電極の2箇所に切り替え可能に配置したものからなり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行い、次いで対向面電極側に電源を印加してイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う項27に記載の表面活性化装置からなる(請求項28)。
- [0051] プラズマ電極側では、電界が作られるためイオンが加速して衝突するのでイオン衝突力が増し、電極と対向面ではイオンは加速衝突しないのでイオン衝突力は低い、加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進される。プラズマ電極を被接合物保持電極と対向面電極の2箇所に切り替え可能に配置し、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行い、次いで対向面電極側に電源を切り替えてイオン衝突力の弱いプラズマ処理を行うことにより、不純物を除去し、かつ、イオン衝突力を弱めることにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができる。
- [0052] 従来の被接合物保持電極のみにプラズマ電源を印加した場合と、被接合物保持電極と対向面電極を切り替え処理した場合の温度と接合強度の違いを図14に示す。従来方法では十分な強度を得るのに400℃必要であったが、本方式では400℃以内である常温から200℃以内で十分な接合強度を得ることができた。また、対向電極とは、平行平板型のように対向配置しても良いが、電極以外の周囲に配置しても同様な効果が表れる。また、スパッタエッチングによる電極材料の再付着を避けるためには、対向面より側面の方が好ましい。本文でいう対向面電極とはこれらの周囲の部位に電極を配置することを含む。

- [0053] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、Vdcが調整可能であるRFプラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてVdc値を変化させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法からなる(請求項10)。
- [0054] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、Vdcが調整可能であるRFプラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてVdc値を変化させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項27に記載の表面活性化装置からなる(請求項29)。
- [0055] プラズマ電極側では、電界が作られるが、Vdc値によりイオンが衝突する速度が変わる。図10に示すように、例えば+酸素イオンはVdc値が一である程加速されイオン衝突力は増加し、0に近づく程、速度は遅くなり、イオン衝突力は低下し、加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進される。Vdc値を一側に大きくしてプラズマ処理を行い、次いでVdc値を0に近づけ吸着工程を行うことにより、プラズマ処理後半に、イオン衝突力を弱めたプラズマ処理を行うことにより、不純物を除去し、かつ、イオン衝突力を弱めることにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができる。接合結果も図14と同様な結果が得られた。
- [0056] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、パルス幅が調整可能であるパルス波プラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてパルス幅を変化させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法からなる(請求項11)。
- [0057] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、パルス幅が調整可能であるパルス波プラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてパルス幅を変化させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項27に記載の表面活性化装置からなる(請求項30)。
- [0058] プラズマ電極側では、電界が作られるが、図11に示すように、パルス幅を調整することにより+イオンが衝突する一電界の時間と、衝突が弱まる一電界が弱い時間との間

隔を調整することができる。－電界の時間を多くすると＋イオンの衝突は強められ、－電界の時間を少なくすると＋イオンの衝突は弱められる。

[0059] 例えば、＋酸素イオンは－電界の時間を長くする程加速されイオン衝突力は増加し、－電界の時間を短くする程速度は遅くなり、イオン衝突力は低下し、加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進される。パルス幅を調整して－電界の時間を多くしてプラズマ処理を行い、次いで－電界の時間を短くしてプラズマ処理を行うことにより、イオン衝突力を強めた減圧プラズマ処理後、イオン衝突力を弱めた減圧プラズマ処理にて、不純物を除去し、かつ、イオン衝突力を弱めることにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化を行うことができる。そのため、低温で接合強度を増すことができる。接合結果も図14と同様な結果が得られた。

[0060] なお、前記処理工程後に複数の被接合物を大気中で接合面同士を密着させ接合する接合方法及び表面活性化装置であってもよい。この場合、プラズマ処理後半にてイオン衝突力を弱めることにより化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化処理を行うことができる。既に接合表面にはOH基や窒素置換などの化学処理が施されているので大気中でも接合することができる。

[0061] さらに、前記処理工程後に複数の被接合物を減圧中で接合面同士を密着させ接合する接合方法及び表面活性化装置であってもよい。一旦大気圧に戻して吸着層を付けたとしても、真空チャンバー中で減圧して両被接合物を密着させ接合させることにより、空気を接合界面に巻き込むことなくボイドレスで接合させることができるので好ましい。

[0062] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、2つの減圧プラズマ照射手段を切り替える手段であり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行う第1のプラズマ照射手段と、プラズマ処理後半において別室で発生したプラズマをイオンをトラップしてラジカルを照射する第2のプラズマ照射手段に切り替えて、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法からなる(請求項12)。

[0063] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、2つの減圧プ

ラズマ照射手段を切り替える手段であり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行う第1のプラズマ照射手段と、プラズマ処理後半において別室で発生したプラズマをイオンをトラップしてラジカルを照射する第2のプラズマ照射手段に切り替えて、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項27に記載の表面活性化装置からなる(請求項31)。

[0064] 図12に示すように被接合物となるウエハをプラズマ電源となる被接合物保持電極に保持した状態で、まず、RFプラズマ電源を印加して被接合物にイオン衝突による物理処理を行う。続いて上部の表面波プラズマにより、より多く発生されたラジカルをイオントラップ板を通してダウフローに照射する。イオントラップ板により、イオンは捕獲されるため、ラジカルがより多く照射させることができ、より化学処理が促進される。接合結果も図14と同様な結果が得られた。

[0065] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマと大気圧プラズマを切り替える手段であり、被接合物表面を減圧プラズマにてイオン衝突力を高めて処理した後、大気圧プラズマにてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法からなる(請求項13)。

[0066] また本発明は、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマと大気圧プラズマを切り替える手段であり、被接合物表面を減圧プラズマにてイオン衝突力を高めて処理した後、大気圧プラズマにてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項27に記載の表面活性化装置からなる(請求項32)。

[0067] プラズマ処理を減圧プラズマと大気圧プラズマに分けることにより、減圧プラズマ処理においては物理処理により不純物を除去し、化学処理により表面にOH基を付けて並べたり、窒素などの置換が行われるが、せっかく表面に化学処理されたものがイオン衝突力が強いので除去され、表面を均一に化学処理することは難しい。

[0068] そこで、減圧プラズマ処理後に大気圧プラズマ処理を行うことにより、大気圧プラズマでは、真空中のようにイオンが電界により加速できないのでイオン衝突力は弱く、加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に化学処理を行い、表面活性化処理を行うことができる。そのため低温で接合

強度を増すことができる。低温とは、従来方法では400℃以上必要であり、それ以下である400℃以内で接合できるので好ましい。なお、前記接合温度が200℃以下である接合方法及び表面活性化装置であってもよい。図14に示すように200℃以下での接合が可能であり、より好ましい。なお、前記大気圧プラズマ処理後、再度真空引きし、減圧下で接合する接合方法及び接合装置であってもよい。大気圧下でプラズマ処理した後に真空化で接合すれば、接合環境も良く、ボイドなく接合が可能となる。さらに、前記大気圧プラズマ処理時に対向保持した被接合物間に2方向に照射する大気圧プラズマノズルを備えた接合装置であってもよい。対向配置して2方向ノズルで処理すれば効率よくプラズマ処理できる。

- [0069] また本発明は、前記反応ガスが酸素と窒素を含んだ混合ガスからなる請求項8〜13のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項14)。
- [0070] また本発明は、前記反応ガスが酸素と窒素を含んだ混合ガスからなる項10〜15のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項33)。
- [0071] 窒素を含むガスを使用することにより、イオン衝突力を弱めた化学処理において、OH基のみならず、OとNを含んだ基が生じる。そのことにより接合時に界面にSi、O、Nの化合物が生成され、常温においても強固な接合が可能となる。図14に酸素反応ガスの場合と酸素と窒素を含んだ反応ガスの場合の比較を示す。酸素のみの場合は、200℃程度加熱しないと強固な接合にはならないが、酸素と窒素が混合されたものでは常温から100℃でも強固な接合が可能となる。
- [0072] なお、前記プラズマ反応ガスをプラズマ処理後半に異なるガスまたは異なる配合ガスを使用する接合方法及び表面活性化装置であってもよい。プラズマ処理後半に異なるガスまたは異なる配合ガスを使用することにより化学処理に優位なガスを使用することができ好ましい。例えば、プラズマ処理前半にArガスを用い、後半に酸素ガスを用いることで効率よいプラズマ処理が可能となる。さらに、前半に酸素ガスを用い、後半に窒素ガスを用いることもできる。また、単に異なるガスを使用しなくとも、Arと酸素の混合ガスを使用し、前半ではArを多めに後半では酸素を多めに配合すれば良い。また、酸素と窒素の混合ガスを使用した場合は、前半では酸素を多めに後半では窒素を多めに配合すれば良い。

- [0073] また本発明は、前記プラズマ反応ガスが、酸素を含んだ反応ガスを用い、イオン衝突力を弱めたプラズマ処理時に窒素を含んだ反応ガスに切り替える請求項8〜13のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項15)。
- [0074] また本発明は、前記プラズマ反応ガスが、酸素を含んだ反応ガスを用い、イオン衝突力を弱めたプラズマ処理時に窒素を含んだ反応ガスに切り変える請求項26〜32のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項34)。
- [0075] イオン衝突力を弱めた化学処理において、窒素を含むガスを使用することにより、OH基のみならず、OとNを含んだ基が生じる。また、プラズマ処理前半においても幾分OH基は付着しているので、イオン衝突力を弱めた化学処理時にOH基とNとの置換が行われる。化学処理とは置換も含む処理を意味する。そのことにより接合時に界面にSi、O、Nの化合物が生成され、常温においても強固な接合が可能となる。本方式においても図14と同様な良好な結果が得られた。
- [0076] なお、前記接合時の加熱温度が100℃以下で固層で接合する接合方法及び表面活性化装置であってもよい。さらに、前記接合時の加熱温度が常温で固層で接合する接合方法及び表面活性化装置であっても構わない。
- [0077] 水分子を除きOH基のみを効率良く配列させれば、100℃以下で接合させることが可能となる。また、窒素を含んだ反応ガスでプラズマ処理後半に化学処理すれば常温でも接合が可能となり好ましい。また、前記処理工程後、接合工程前に大気圧下の水分子または水素を含んだガス中に暴露する吸着工程後、接合する前記に記載の方法及び接合装置からなる。処理工程の後、大気圧下の水分子または水素を含んだガス中に暴露することにより、接合表面は、水分子や水素が少ない減圧プラズマ中と比べ、容易に水分子や水素を吸着してOH基を並べ、水素結合し易くなる。
- [0078] また本発明は、1つの減圧チャンバー内で2つの被接合物をプラズマ処理し、接合する方法において、減圧下の真空チャンバー内に上部被接合物を保持するヘッドと下部被接合物を保持するステージと、ステージまたはヘッドの少なくとも一方は接合面に垂直方向に移動する加圧手段と、ステージまたはヘッドの少なくとも一方が側方への移動手段と、各被接合物に対してプラズマ処理手段を備え、両被接合物同士を接合面が重ならない側方位置へ移動した状態で対向配置し、両接合表面をプラズマ

処理した後、接合位置へスライドさせ、少なくとも一方の被接合物を接合面に垂直方向へ移動させ接合する接合方法及び表面活性化装置であってもよい。

- [0079] 両被接合物をスライドさせた位置でプラズマ処理させれば被接合物保持電極の対向面にも対向電極を設けることができる。プラズマ電極を被接合物保持電極と対向面電極の2箇所に取り替え可能に配置し、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行い、次いで対向面電極側に電源を印加してプラズマ処理後半にてイオン衝突力を弱めることにより化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化処理を行うことができる。その後スライドさせれば両被接合物を重ね合わせて密着させ、接合させることができる。本方式においては1つのチャンバーで効率良く2つの被接合物をプラズマ処理し、接合させることができる。また、プラズマ処理工程後、大気に暴露して吸着させてから接合させることも容易にできる。また、図1に示す装置構成において、接合工程前に両被接合物位置をアライメント補正するアライメント工程を挿入することもでき、高精度に位置決めして接合することも可能となる。
- [0080] また本発明は、前記接合時に両被接合物間に電圧を印加し、加熱下で固層で接合する請求項1～15のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項16)。
- [0081] また本発明は、前記接合時に両被接合物間に電圧を印加し、加熱下で固層で接合する請求項20～34のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項35)。
- [0082] 500～1000Vの電圧を両被接合物間に印加することで水分子は効率良く排出され、加熱のみの場合に比べ低温でも強固な接合が可能となる。また、前記被接合物の少なくとも一方が電圧によりイオンに分解する材料が含まれたSi、SiO₂、ガラス、セラミックである場合は、静電力も助けとなってより効率よく水分子を排出できる。
- [0083] また本発明は、被接合物の少なくとも一方がSi、SiO₂、ガラス、セラミックである項1～16のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項17)。
- [0084] また本発明は、被接合物の少なくとも一方がSi、SiO₂、ガラス、セラミックである請求項20～35のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項36)。
- [0085] Si、SiO₂、ガラス、セラミック、酸化物などは、酸素や窒素プラズマを使用して後半にイオン衝突力を落として化学反応を促進することにより、接合表面にOH基を付けて並べることが容易にできる。OH基が吸着できれば両接合面を密着させれば水素

結合により接合される。また、従来の方法として説明したように、Arエッチングによる表面活性化方法は低温で接合できる唯一の方法であるが、表面の有機物や酸化膜除去して金属の電氣的活性化された面を作りだし原子間力により接合するため、金属以外の半導体や特に酸化物の接合には適さない。よって本発明は金属でないSiなどの半導体や、特に酸化物を含んだ SiO_2 、ガラス、セラミックに対して唯一有効な低温接合方法となる。また、Si同士の接合においても 10^{-8} Torrという高真空な状態が必要となるが、本方式では 10^{-2} Torr程度の真空度で容易に扱うことができるため好ましい。

- [0086] また本発明は、被接合物がウエハーまたはウエハーから切り出されたチップである請求項1〜17のいずれかに記載の接合方法からなる(請求項18)。
- [0087] また本発明は、被接合物がウエハーまたはウエハーから切り出されたチップである請求項20〜36のいずれかに記載の表面活性化装置からなる(請求項37)。
- [0088] 半導体において SiO_2 は内部の絶縁体として用いられるため本方式は特に適する。また、半導体とパッケージとの接合においても絶縁体であるガラス、セラミックは頻繁に用いられ有効である。形態としては半導体の製造工程であるウエハー上でハンドリングして張り合わせるとが一番有効であるが、ダイシング後のチップ状態でも適する。低温での接合が可能となり、イオン注入後、高温加熱するとイオンが抜けてしまうため、熱に弱い半導体デバイスには好適な方法である。
- [0089] また本発明は、請求項1〜18のいずれかに記載の接合方法で作られた半導体デバイスまたはMEMSデバイスなどのデバイスからなる(請求項19)。
- [0090] 低温での接合が可能となり、イオン注入後、高温加熱するとイオンが抜けてしまうため、熱に弱い半導体デバイスには好適な方法である。異種材料を重ね合わせるMEMSデバイスでは従来接合時の高温加熱によりひずみが生じ、一方がアクチュエータの場合は動作に不良が起こる。しかし、本方式においては低温で接合できるため、熱によるひずみが押さえられ好適である。また、圧力センサーなどでは、従来ガラスとSiの接合であったため、接合時の高温加熱によるひずみがデバイスの信頼性に影響を与えていた。本方式においては低温で接合できるため、ひずみなく信頼性の高いMEMSデバイスを作ることができ好適である。

[0091] また本発明は、請求項20～37のいずれかに記載の表面活性化装置を備え、前記プラズマ親水化処理から接合までを一括して行う接合装置からなる(請求項38)。

[0092] プラズマによる親水化処理後の接合において大気中でも接合可能であるが、真空チャンバー内で行うことにより、大気に触れることなく再付着物を防止でき、純粋な多くのOH基の中で水素結合が可能となりより有効な方法である。

発明の効果

[0093] 被接合物同士の接合面をプラズマにて親水化処理して500℃以内に固層で接合する方法において、両被接合物を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるエネルギー波により物理処理する物理処理工程の後、イオン衝突力の弱いプラズマにて化学処理する化学処理工程を行い、両被接合物を接合することで、有機物層を伴わない親水処理ができ、拡散させなくとも水素結合後の H_2O を放出させるための低温でのアニーリングのみで十分な接合強度を得ることが可能となる。また、両被接合物を同じ真空チャンバー内で処理することで1チャンバーで全処理が可能となる。

[0094] また、プラズマ処理後半にてイオン衝突力を弱めることにより化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化処理を行うことができる。そうすることにより、低温で強固な接合が可能となる。

図面の簡単な説明

[0095] [図1]本発明の第1実施態様における装置の概略構成図である。

[図2]第1実施態様の接合手順を示す工程図である。

[図3]2視野認識手段を用いた大気中でのアライメント構成図である。

[図4]IR認識手段を用いた真空中でのアライメント構成図である。

[図5] SiO_2 やSiの親水化処理による接合原理の説明図である。

[図6]従来の有機物を伴う親水化処理による接合原理図である。

[図7]本発明の第2実施態様における装置の概略構成図である。

[図8]第2実施態様の接合手順を示す工程図である。

[図9]第1実施態様のプラズマ処理方法による接合強度の比較説明図である。

[図10]本発明の第3実施態様におけるRFプラズマ電源の波形図である。

[図11]本発明の第4実施態様におけるパルス波プラズマ電源の波形図である。

[図12]本発明の第7実施態様における装置の概略構成図である。

[図13]本発明の第8実施態様の接合手順を示す工程図である。

[図14]第2ないし8実施態様のプラズマ処理方法による接合強度の比較説明図である。

符号の説明

- [0096]
- 1 Z軸
 - 2 ピストン型ヘッド
 - 3 チャンバー壁
 - 4 摺動パッキン
 - 5 固定パッキン
 - 6 上部電極
 - 7 上ウエハー
 - 8 下ウエハー
 - 9 下部電極
 - 10 チャンバー台
 - 11 吸入口
 - 12 排出口
 - 13 吸入バルブ
 - 14 排出バルブ
 - 15 真空ポンプ
 - 16 ガス切替弁
 - 17 ガスA
 - 18 ガスB
 - 19 マーク読みとり用透過部
 - 20 アライメントテーブル
 - 21 ガラス窓
 - 22 IR認識手段
 - 23 上マーク

- 24 下マーク
- 25 2視野認識手段
- 26 プリズム
- 27 上マーク認識手段
- 28 下マーク認識手段
- 201 トルク制御式昇降駆動モータ
- 202 Z軸昇降機構
- 203 θ 軸回転機構
- 204 圧力検出手段
- 205 ベローズ
- 206 XYアライメントテーブル
- 207 ヘッド
- 208 ステージ
- 209 下ウエハー
- 210 上ウエハー
- 211 真空チャンバー
- 212 ヘッド側認識手段
- 213 ステージ側認識手段
- 214 ガラス窓
- 215 排気管
- 216 排気弁
- 217 真空ポンプ
- 218 吸気管
- 219 吸気弁
- 220 吸入ガス切り替え弁
- 221 Ar
- 222 O_2
- 223 大気

- 227 上アライメントマーク
- 228 下アライメントマーク
- 229 スライド移動手段
- 500 表面波プラズマ発生手段
- 501 RFプラズマ電源
- 502 イオントラップ板
- 503 ウエハー
- 504 ラジカル
- 505 イオン
- 506 真空チャンバー
- 507 反応ガス供給口
- 508 排気口
- 509 被接合物保持電極
- 510 マイクロウェーブ電源
- 511 表面波プラズマ発生領域
- 512 RFプラズマ発生領域

発明を実施するための最良の形態

[0097] 以下に本発明の望ましい実施形態について、図面を参照して説明する。

[0098] (第1実施形態)

図1に本発明の第1実施形態に係るウエハー表面活性化及び接合のための装置を示す。本実施例においては、物理処理は、OH基を付着させる前処理として不純物を除去するためのエッチングである方法について記述する。この実施形態では、被接合物であるウエハーを上下に対向して保持させた状態でチャンバーを閉じ、真空内でArプラズマ、酸素プラズマにより表面活性化処理後、接合させ、場合によっては加熱により強度アップさせる装置である。

[0099] 装置構成は、上ウエハー7を保持し、Z軸1により昇降制御と加圧制御を行うヘッド部と、下ウエハー8を保持し、場合によってはウエハーをアライメントするステージ部に分けられる。Z軸1には圧力検出手段が組み込まれ、Z軸サーボモータのトルク制御

ヘフィードバックすることで加圧力制御を行う。別途アクチュエータにより昇降可能なチャンバー壁3が下降し、チャンバー台10に固定パッキン5を介して接地した状態で真空に引き、反応ガスを導入してプラズマ処理を行い、ヘッド部が下降して両ウエハーを接合する構成となっている。また、場合によっては上部電極6、下部電極9は加熱ヒータも備えており、接合時に加熱することもできる。

- [0100] なお、図1において、2はピストン型ヘッド、4は摺動パッキン、11は吸入口、12は排出口、13は吸入バルブ、14は排出バルブ、15は真空ポンプ、16はガス切替弁、17はガスA、18はガスBを示す。
- [0101] 処理手順について図2にしたがって説明すると、まず図2(a)のようにチャンバー壁3が上昇した状態で上ウエハー7を上部電極6に保持させる。保持させる方法はメカニカルなチャッキング方式もあるが、静電チャック方式が望ましい。
- [0102] 続いて、下ウエハー8を下部電極9に保持させる。そして、図2(b)に示すように、チャンバー壁3を下降させ、チャンバー台10に固定パッキン5を介して接地させる。チャンバー壁3は摺動パッキン4により大気と遮断されているので、吸入バルブ13を閉止した状態で排出バルブ14を開け、真空ポンプ15により真空引きを行うことでチャンバー内の真空度を高めることができる。
- [0103] 次に、図2(c)に示すように、チャンバー内を反応ガスで満たす。真空ポンプ15は動作させながら排出バルブ14の排出量と吸入バルブ13でのガス吸入量をコントロールすることで一定の真空度に保ちながら反応ガスで満たすことが可能である。同図(d)、(e)に示すように、本方式では、まずArガスを充填させ、 10^{-2} Torr程度の真空度で下部電極9に交番電源プラズマ電圧を印加することでプラズマを発生させ、下部ウエハー8表面をArエッチングにより洗浄する。続いて、上部電極6に同様な交番電源を印加することで上部ウエハー7をArエッチングにより洗浄する。次に、同図(b)に示すように、チャンバー内をプラズマ発生領域よりさらに真空引きしてArを排出する。場合によっては両電極を100℃程度に加熱しながら真空引きを行うことにより表面に付着したり部材内部に打ち込まれたArを排出する。さらに、同図(c)～(e)の手順をArに替わって酸素ガスを供給することで表面を酸素プラズマ処理する。
- [0104] Arと酸素の2ガスを1チャンバーで切り替える方法はガス切替弁16にてArと酸素ガ

スを選択して供給することができる。まずArを選択して充填した後、吸入バルブ13を閉じてチャンバー内を真空引きしArを排出した後、ガス切替弁16にて酸素ガスに切り替え、吸入バルブ13を開き、チャンバー内を酸素ガスで充満させる。また、このガス切替弁16は大気を吸入させることもできるのでチャンバーを開く時に大気解放させることもできる。

- [0105] 次に場合によっては、水分を含んだガスを供給し、表面を親水化処理する。続いて、図2(f)に示すように、真空中でチャンバー壁3とZ軸1とが摺動パッキン4で接しながらピストン型ヘッド2がZ軸1により下降され、両ウエハーを真空中で接触させ、水素結合力により接合させる。チャンバー内はチャンバー壁3とZ軸1との間の摺動パッキン4により外部雰囲気と遮断され、真空中に保持された状態でピストン型ヘッド部が下降することができる。また、場合によっては同時に両電極に仕込まれたヒータにより200℃から400℃に加熱し、強度アップを行う。
- [0106] その後、図2(h)に示すように、チャンバー内に大気を供給し大気圧に戻して、ヘッド部を上昇させ、接合された両ウエハー7, 8を取り出す。場合によっては、接合に際し、両ウエハーの位置をアライメントした後、接合する場合もある。
- [0107] 図3に真空引きする前にアライメントする方法を示す。上ウエハー7にはアライメント用の上マーク23が2箇所につけられ、下ウエハー8にはアライメント用の下マーク24が同様な位置2箇所につけられている。両ウエハーの間に2視野認識手段25を挿入し、上下のマーク位置を認識手段で読み取る。2視野認識手段25は上下のマーク像をプリズム26により分岐し、上マーク認識手段27と下マーク認識手段28に分離して読み取る。なお、2視野認識手段25はXY軸と場合によってはZ軸を持ったテーブルで移動され、任意の位置のマークを読み取ることができる。その後、アライメントテーブル20により下ウエハー8の位置を上ウエハー7の位置に補正移動させる。移動後、再度2視野認識手段25を挿入して繰り返して補正し、精度を上げることも可能である。
- [0108] 図4に真空引きした後の接合する前にでもアライメントできる方法を示す。上ウエハー7にはアライメント用の上マーク23が2箇所につけられ、下ウエハー8にはアライメント用の下マーク24が2箇所につけられている。上下マークは重なっても同視野で認

識できるような形状となっている。プラズマ処理後の両ウエハーを近接させ、マーク読みとり用透過部19とガラス窓21を透過してIR認識手段22により下ウエハーを透過して金属でつけられた上下のアライメントマークを同時に認識して位置を読み取る。焦点深度が合わない場合は、IR認識手段22を上下移動させて読み取る場合もある。IR認識手段22はXY軸と場合によってはZ軸を持ったテーブルで移動され任意の位置のマークを読み取ることができるようにしてもよい。その後、アライメントテーブル20により下ウエハー8の位置を上ウエハー7の位置に補正移動させる。移動後、再度IR認識手段22により繰り返して補正し、精度を上げることも可能である。

- [0109] 次に、 SiO_2 やSiの親水化処理による接合原理を図5に示す。図5(a)に示すように、酸素プラズマによる親水化処理によりSi表面にOH基を付着させる。次に、同図(b)に示すように、両被接合物を接触させ、水素結合により仮接合する。続いて、同図(c)に示すように、加熱により H_2O を放出させ、 Si-O-Si の強固な結合を得る。
- [0110] しかしながら、従来のように表面に有機物の付着物が混入するとその部分では、図6(a)に示すように、酸素プラズマにて有機物の改質が行われOH基が作られる。そして、同図(b)、(c)に示すように、このOH基と他方の被接合物表面のSiや有機物上のOH基と水素結合すると、少なくとも一方は有機物であるのでこのまま水分を放出しても接合強度は低く、高温にて拡散して有機物層を混ぜ合わせて結晶中に取り込んでしまわないと強固な接合ができないことになる。
- [0111] 酸素プラズマ処理後、 H_2O またはH、OH基を含むガスに置換した後に接合する方法として、水分を含有したガスが容易であるが、 H_2O 分子ビーム、水素ガスなども用いることができる。
- [0112] Arプラズマにてエッチングすることが効率上好ましいが、窒素、酸素など他のガスでエッチングすることも可能であり、本発明に含む。また、被接合物の少なくとも一方がSi、 SiO_2 、ガラス、セラミックである場合には、プラズマ反応ガスとして CF_4 を使用すると効率よく素材をエッチングすることができ、好適である。
- [0113] プラズマ処理する方法として交番電極面のウエハーを洗浄するのが効率上好ましいが、均一性やダメージ軽減から電極をウエハー以外の場所に設置しウエハーを洗浄する場合もある。

- [0114] IR認識手段にてマークを読み取る構成において、マーク読みとり用透過部19やガラス窓21、アライメントテーブル間の空間などにおけるIR光源の通り道は、空間やガラスに限らず、IR光を透過する材質で構成されてあればよい。また、反射光のみならずIR(赤外)認識手段の反対側に光源を用いて透過光としてもよい。
- [0115] また、少なくとも一方の被接合物保持手段の表面に弾性材を配し、前記接合時に弾性材を介して両被接合物を加圧することで平行度をならわせ、また、薄い被接合物であれば平坦度もならわせることができる。
- [0116] また、ステージ及び／またはヘッドに被接合物保持手段が球面軸受けで保持され、前記接合時または接合前に被接合物同士を接触加圧して少なくとも一方の被接合物に他方の傾きを合わせることができる構造にすれば、平行度をならわして接合することができる。
- [0117] また、被接合物の少なくとも一方がSi、SiO₂、ガラス、セラミックである場合には酸素プラズマで処理した場合は、接合表面を親水化処理し、水素結合により接合した後、200℃程度の低温で1時間程度加熱することで水分子を放出させ、強固な共晶結合へと変換させることができる。また、500V程度の高電圧を両被接合物間を接触させた状態で印加することで水分子を効率良く除去することができる。
- [0118] (第2実施形態)
- 以下に本発明の望ましい第2実施形態について、図面を参照して説明する。本実施形態においては、OH基を付着させる工程において、イオン衝突力を切り替えることにより、物理処理により酸素を付着させ、化学処理によりOH基付着を増進させ、効率良くOH基を付着させる方法について記述する。
- [0119] 図7に本実施形態に係る真空中でのプラズマ処理による接合装置の構成を示す。本実施形態では、第1の被接合物である上ウエハーと第2の被接合物である下ウエハーを接合するための装置として例に挙げる。
- [0120] まず、装置構成について記述する。図7に示すように、上ウエハーを保持するヘッド207と下ウエハー209を保持するステージ208が真空チャンバー211中に配置され、ヘッドはトルク制御式昇降駆動モータ201が連結されたZ軸昇降機構202とこのZ軸昇降機構202を回転させるθ軸回転機構203と、ヘッド部をXY水平方向へアライ

メント移動させるXYアライメントテーブル206により、X、Y、 θ 方向のアライメント移動手段とZ方向の昇降手段からなる。圧力検出手段204により検出された接合時の加圧力をトルク制御式昇降駆動モータ201にフィードバックすることで位置制御と圧力制御が切り替えながら行えるようになっている。また、圧力検出手段204は被接合物同士の接触検出にも利用できる。XYアライメントテーブル206は真空中でも使用できる手段を使用するが、Z、 θ 軸機構は真空チャンバー外部に設置するため、ベローズ205により移動可能にヘッド部と外部を遮断されている。

[0121] ステージ208は接合位置と待機位置間をスライド移動手段229によりスライド移動することができる。スライド移動手段には高精度なガイドと位置を認識するリニアスケールが取り付けられており、接合位置と待機位置間の停止位置を高精度に維持することができる。また、移動手段としては、真空チャンバー内部に組み込んでいるが、移動手段を外部に配置し、パッキンされた連結棒で連結することで外部にシリンダやリニアサーボモータなどを配置することが可能である。また、真空中にボールネジを配置し、外部にサーボモータを設置することでも対応できる。移動手段はいかなる移動手段であってもよい。ヘッド及びステージの被接合物保持手段としては、メカニカルなチャッキング方式であっても良いが、静電チャックを設けることが好ましい。また、加熱のためのヒータを備え、プラズマ電極ともなっており、保持手段、加熱手段、プラズマ発生手段の3つの機能を備える。

[0122] 減圧手段としては、排気管215に真空ポンプ217がつながれ、排気弁216により開閉と流量調整が行われ、真空度を調整可能な構造となっている。また、吸入側は、吸気管218に吸入ガス切り替え弁20が連結され吸気弁219により開閉と流量調整が行われる。吸入ガスとしてはプラズマの反応ガスを2種類連結でき、例えばAr221と酸素(O_2)222をつなぐことができる。また、混合ガスの配合を変えたガスを連結することもできる。もう一つは大気圧解放用の大気または水分子を含んだ窒素がつながれる。大気圧含めた真空度や反応ガス濃度は吸気弁219と排気弁216の開閉含めた流量調整により最適な値に調整可能となっている。また、真空圧力センサーを真空チャンバー内に設置することで自動フィードバックすることもできる。

[0123] アライメント用の光学系からなるアライメントマーク認識手段がステージ待機位置の

上方とヘッド下方に真空チャンバー外部に配置される。認識手段の数は最低ステージ、ヘッド側に1つずつあれば良く、チップのような小さなものを認識するのであれば、アライメントマークが θ 方向成分も読みとれる形状や2つのマークを1視野内に配置することで1つの認識手段でも十分読み取ることができるが、本実施形態のようにウエハーのような半径方向に大きなものは両端に2つずつ配置した方が θ 方向の精度を高く読み取ることができるので好ましい。

[0124] また、認識手段は水平方向や焦点方向へ移動可能な手段を設けて、任意の位置のアライメントマークを読みとれるようにしてもよい。さらに、認識手段は、例えば可視光やIR(赤外)光からなる光学レンズをともなったカメラからなる。真空チャンバーには認識手段の光学系が透過できる材質、例えばガラスからなる窓が配置され、そこを透過して真空チャンバー中の被接合物のアライメントマークを認識する。被接合物上には例えば各上ウエハー、下ウエハーの対向する表面にアライメントマークが施され位置精度良く認識することができる。アライメントマークは特定の形状であることが好ましいが、ウエハー上に施された回路パターンなどの一部を流用しても良い。

[0125] また、マークとなるものが無い場合はオリフラなどの外形を利用することもできる。ステージ待機位置で上下ウエハーの両アライメントマークを読み取り、接合位置へステージを移動させ、ヘッド側でX、Y、 θ 方向へアライメント移動を行う。待機位置の読みとり結果を接合位置で反映させるため、ステージの待機位置と接合位置の相対移動距離ベクトルは繰り返し同じ結果となるよう精度が必要である。そのため、ガイドには高精度な繰り返し精度を持つものを使用し、かつ、両サイドでの位置認識を高精度に読み取るリニアスケールを配置している。リニアスケールを移動手段にフィードバックすることで停止位置精度を高める方法と移動手段が簡易なシリンダのようなものやボルトナット機構のようなバックラッシュのあるものである場合は、リニアスケールを両停止位置で読み取り、行き過ぎや行き足りない分をヘッド側アライメント移動手段を移動させる時に考慮して補正することで容易に高精度を達成することができる。

[0126] また、ナノレベルにより高精度にファインアライメントする場合は、粗位置決めを行った後、上ウエハーと下ウエハーを数 μm 程度に近接させた状態でヘッド側認識手段に可視光、IR(赤外)兼用認識手段を使用し、ステージのアライメントマーク位置には

透過孔や透過材を設けることで、下部からステージを透過して両ウエハー上のアライメントマークを同時認識して再度X、Y、 θ 方向へアライメントすることができる。認識手段が焦点方向に移動手段を持つ場合は上下個別に認識することもできるが、近接させて同時認識した方が精度上より好ましい。ファインアライメントする場合、繰り返してアライメントすることで精度向上が可能となり、また、 θ 方向は芯ぶれの影響が出るので一定以内に入った後はXY方向のみのアライメントを行うことでナノレベルまで精度を向上できる。画像認識手段としてはサブピクセルアルゴリズムを使用することで赤外線の見像度以上の認識精度を得ることが可能となる。また、近接させてアライメントしておけば接合時に必要なZ移動量は最低限の数 μm 以内となるため、Z移動に対するガタや傾きを最小限に押さえられ高精度なナノレベルの接合精度を達成することができる。

- [0127] 次に動作フローを図8を参照しながら解説する。まず、図8(a)に示すように、真空チャンバーの前扉を開いた状態で上ウエハーと下ウエハーをステージとヘッドに保持させる。これは人手でもよいが、カセットから自動でローディングしてもよい。次に、同図(b)に示すように、前扉を閉め、真空チャンバー内を減圧する。不純物を取り除くために 10^{-3}Torr 以下に減圧することが好ましい。
- [0128] 続いて、図8(c)、(d)に示すように、プラズマ反応ガスである例えば酸素ガスを供給し、例えば 10^{-2}Torr 程度の一定の真空度で被接合物保持電極にプラズマ電源を印加し、プラズマを発生させる。発生されたプラズマイオンは電源側に保持されたウエハーの表面に向かって衝突し、表面の酸化膜や有機物層などの付着物がエッチングされる。また、イオン衝突により表面層と入れ替わったり付着することで、表面にOH基が付けられ並べられる。しかし、イオン衝突力が強いので一部のOH基は再び除去され不揃いとなる。せっかく表面に付着されたものがイオン衝突力が強いので除去され、表面を均一に化学処理することは難しい。そこでプラズマ処理後半において、対向電極にプラズマ電源を切り替えることにより、イオン衝突力を弱めてプラズマ処理することにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に化学処理を行い、OH基を均一に並べることができる。また、同時に両ウエハーを処理することも可能であるが、1つのマッチングボックスを切り替

えることで交互に処理することもできる。また、処理後または処理中に反応ガスやエッチング物を取り除くために 10^{-3} Torr以下に減圧することが好ましい。

[0129] また、OH基の吸着がプラズマ処理で十分でない場合は、図8(e)に示すように、大気圧下の水分または水素を含んだガスや大気に暴露することで容易に水分や水素を吸着してOH基を生成できる。その後、大気中で接合する場合は大気に暴露されたまま同図(g)の工程に進むが、真空中で接合する場合は、同図(f)に示す再度減圧を行う。本吸着工程が不要の場合は減圧のまま同図(g)の工程に進む。

[0130] 続いて、図8(g)に示すように、ステージ待機位置でヘッド側、ステージ側の各々の認識手段で真空中で上下ウエハー上のアライメントマークを読み取り、位置を認識する。そして、同図(h)に示すように、ステージを接合位置へスライド移動する。このとき、認識された待機位置とスライド移動した接合位置の相対移動はリニアスケールを用いて高精度に行われる。

[0131] ナノレベルの高精度が要求される場合は、図8(i)に示す工程を追加する。粗位置決めを行った後、上ウエハーと下ウエハーを数 μ m程度に近接させた状態でヘッド側認識手段に可視光、IR(赤外)兼用認識手段を使用し、ステージのアライメントマーク位置には透過孔や透過材を設けることで、下部からステージを透過して両ウエハー上のアライメントマークを赤外透過して同時認識し、再度X、Y、 θ 方向へアライメントすることができる。この場合、繰り返してアライメントすることで精度向上が可能となり、また、 θ 方向は芯ぶれの影響が出るので一定以内に入った後はXY方向のみのアライメントを行うことでナノレベルまで精度を向上できる。

[0132] 続いて、図8(j)に示すように、ヘッドを下降させ、両ウエハーを接触させ、位置制御から圧力制御へと切り替え加圧する。圧力検出手段により接触を検出し高さ位置を認識しておいた状態で、圧力検出手段の値をトルク制御式昇降駆動モータにフィードバックし設定圧力になるように圧力コントロールする。また、必要に応じて接合時に加熱する。常温で接触させた後、昇温させることで精度をキープさせた状態で加熱することができる。

[0133] さらに、図8(k)に示すように、ヘッド側保持手段を解放し、ヘッドを上昇させる。続いて、同図(l)に示すように、ステージを待機位置に戻し、真空チャンバー内を大気

解放する。次に、同図(m)に示すように、前扉を開けて接合された上下ウエハーを取り出す。人手でもよいが自動でカセットにアンローディングすることが好ましい。

- [0134] また、少なくとも一方の被接合物保持手段の表面に弾性材を配し、前記接合時に弾性材を介して両被接合物を加圧することで平行度をならわせ、また、薄い被接合物であれば平坦度もならわせることができる。
- [0135] また、ステージ及び／またはヘッドに被接合物保持手段が球面軸受けで保持され、前記接合時または接合前に被接合物同士を接触加圧して少なくとも一方の被接合物に他方の傾きを合わせることができる構造とすることで、平行度をならわして接合することができる。
- [0136] また、プラズマ処理により表面活性化して接合させるため、図14に示すように、接合時の加熱温度を従来のSi同士を400℃以上加熱して接合する方法から200℃以下に落とすことが可能となる。また、錫鉛ハンダの熔融温度である183℃以下である180℃以下で固層接合することができる。また、100℃以下でも可能でありより好ましい。
- [0137] また、被接合物の少なくとも一方がSi、SiO₂、ガラス、セラミックである場合には酸素プラズマで処理した場合は、接合表面を親水化処理し、水素結合により接合した後、200℃程度の低温で1時間程度加熱することで水分子を放出させ、強固な共晶結合へと変換させることができる。また、図2(g)に示すように、500V程度の高電圧を両被接合物間を接触させた状態で印加することで水分子を効率良く除去することができる。
- [0138] また、上記方法で低温で接合できるので熱に弱い半導体や熱ひずみを嫌うMEMSデバイスには好ましい。また、低温での接合が可能となり、イオン注入後、高温加熱するとイオンが抜けてしまうため、熱に弱い半導体デバイスには好適な方法である。
- [0139] (第3実施形態)

イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理として、第2実施形態ではプラズマ電極を切り替えることにより行ったが、第3実施形態では、前記減圧プラズマがVdcが調整可能であるRFプラズマ電源を備え、プラズマ処理後半においてVdc値を変化させ、イオン衝突力を弱めてプラズマ処理を行うものである。図10は、そのRFプラズマ電源

の波形図である。

- [0140] プラズマ電極側では、電界が作られるが、Vdc値によりイオンが衝突する速度が変わる。例えば+酸素イオンはVdc値が-である程加速されイオン衝突力は増加し、0に近づく程、速度は遅くなり、イオン衝突力は低下し、加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進される。Vdc値を一側に大きくしてプラズマ処理を行い、次いでVdc値を0に近づけ吸着工程を行うことにより、プラズマ処理後半に、イオン衝突力を弱めたプラズマ処理を行うことにより、不純物を除去し、かつ、イオン衝突力を弱めることにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができる。接合結果も図Aと同様な結果が得られた。

- [0141] (第4実施形態)

イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理として、第4実施形態では、前記減圧プラズマがパルス幅が調整可能であるパルス波プラズマ電源を備え、プラズマ処理後半においてパルス幅を変化させ、イオン衝突力を弱めてプラズマ処理を行うものである。図11は、そのパルス波プラズマ電源の波形図である。

- [0142] プラズマ電極側では、電界が作られるが、パルス幅を調整することにより+イオンが衝突する-電界の時間と衝突が弱まる-電界が弱い時間との感覚を調整することができる。-電界の時間を多くすると+イオンの衝突は強められ、-電界の時間を少なくすると+イオンの衝突は弱められる。例えば+酸素イオンは-電界の時間を長くする程加速されイオン衝突力は増加し、-電界の時間を短くする程速度は遅くなり、イオン衝突力は低下し、加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進される。

- [0143] パルス幅を調整して-電界の時間を多くしてプラズマ処理を行い、次いで-電界の時間を短くしてプラズマ処理を行うことにより、イオン衝突力を強めた減圧プラズマ処理後、イオン衝突力を弱めた減圧プラズマ処理にて、不純物を除去し、かつ、イオン衝突力を弱めることにより加速されないイオンやラジカルは多く存在するので化学反応は促進され接合表面に均一に表面活性化を行うことができる。そのため低温で接合強度を増すことができる。接合結果も図Aと同様な結果が得られた。

[0144] (第5実施形態)

第2実施形態では酸素プラズマを使用したOH基による水素結合による接合例を挙げたが、第5実施形態では、前記反応ガスが酸素と窒素を含んだ混合ガスからなり、化合物を生成して接合するものである。

[0145] 酸素に加え、窒素を含むガスを使用することにより、イオン衝突力を弱めた化学処理において、OH基のみならず、OとNを含んだ基が生じる。また、プラズマ処理前半においても幾分OH基は付着しているので、イオン衝突力を弱めた化学処理時にOH基とNとの置換が行われる。そのことにより接合時に界面にSi、O、Nの化合物が生成され、100℃以下、または常温においても強固な接合が可能となる。図9に酸素反応ガスのみの場合と酸素と窒素を含んだ反応ガスの場合の比較を示す。

[0146] 酸素のみの場合は、200℃程度加熱しないと強固な接合にはならないが、酸素と窒素が混合されたものでは、100℃以下、または常温でも強固な接合が可能となる。

[0147] (第6実施形態)

第2実施形態では酸素プラズマを使用したOH基による水素結合による接合例を挙げたが、第6実施形態では、被接合物の少なくとも一方がSi、ガラス、酸化物であり、前記プラズマ反応ガスをプラズマ処理後半に異なるガスまたは異なる配合ガスを使用するものである。

[0148] プラズマ処理後半に異なるガスまたは異なる配合ガスを使用することにより化学処理に優位なガスを使用することができ好ましい。例えば、前半に酸素ガスをを用い、後半に窒素ガスをを用いることもできる。また、単に異なるガスを使用しなくとも、酸素と窒素の混合ガスを使用し、前半では酸素を多めに後半では窒素を多めに配合すればよい。

[0149] 前記プラズマ反応ガスが、酸素を含んだ反応ガスをを用い、イオン衝突力を弱めたプラズマ処理時に窒素を含んだ反応ガスに切り変える。イオン衝突力を弱めた化学処理において、窒素を含むガスを使用することにより、OH基のみならず、OとNを含んだ基が生じる。また、プラズマ処理前半においても幾分OH基は付着しているので、イオン衝突力を弱めた化学処理時にOH基とNとの置換が行われる。そのことにより接合時に界面にSi、O、Nの化合物が生成され、常温においても強固な接合が可能

となる。本方式においても図9と同様の良好な結果が得られた。

- [0150] また、第2から第6実施形態において、前記プラズマ反応ガスを一方の被接合物と他方で異なるガスを使用し、個別に処理するすることができる。
- [0151] また、第2から第6実施形態において、前記実施例では被接合物としてウエハーを上げたが、チップと基板であってもよい。被接合物はウエハーやチップ、基板に限らずいかなる形態のものでもよい。
- [0152] また、第2から第6実施形態において、被接合物の保持手段としては静電チャック方式が望ましいが、メカニカルにチャッキングする方式でもよい。また、大気中でまず真空吸着保持させておいて密着させた後、メカニカルチャックする方が密着性は増してより好ましい。
- [0153] また、第2から第6実施形態において、ヘッド側がアライメント移動手段と昇降軸を持ち、ステージ側がスライド軸を持ったが、アライメント移動手段、昇降軸、スライド軸はヘッド側、ステージ側にどのように組み合わせられてもよく、また、重複しても良い。また、ヘッド及びステージを上下に配置しなくとも左右配置や斜めなど特に配置方向に依存しない。
- [0154] また、第2から第6実施形態において、ステージをスライドさせた状態でプラズマ処理する場合は、ヘッドとステージの電極形状、周囲の形状が似かよっているため電界環境は似かよっている。そのため、プラズマ電源を自動調整するマッチングボックスは個別のものを使用しなくとも、一つのもので電極を切り替え、順次ヘッド側、ステージ側とプラズマ処理することができる。そうすることでコンパクト、コストダウンを達成できる。
- [0155] (第7実施形態)
- 第7実施形態においては、前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、2つの減圧プラズマ照射手段を切り替える手段であり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行う第1のプラズマ照射手段と、プラズマ処理後半において別室で発生したプラズマをイオンをトラップしてラジカルを照射する第2のプラズマ照射手段に切り替えて、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行うことが特徴である。

[0156] 図12に示すように、被接合物となるウエハー503をプラズマ電源となる被接合物保持電極に保持した状態で、まず、RFプラズマ電源501を印加して被接合物にイオン衝突による物理処理を行う。続いて上部の表面波プラズマにより、より多く発生されたラジカルをイオントラップ板を通してダウンフローに照射する。イオントラップ板502により、イオンは捕獲されるため、ラジカルがより多く照射させることができ、より化学処理が促進される。

[0157] なお、図12において、500は表面波プラズマ発生手段、504はラジカル、505はイオン、506は真空チャンバー、507は反応ガス供給口、508は排気口、509は被接合物保持電極、510はマイクロウェーブ電源、511は表面波プラズマ発生領域、512はRFプラズマ発生領域である。

[0158] (第8実施形態)

以下にイオン衝突力を弱めた化学処理に大気圧プラズマを使用した第8実施形態について、図面を参照して説明する。本実施形態では、被接合物であるウエハーを上下に対向して保持させた状態でチャンバーを閉じ、真空内で酸素プラズマにより処理後、チャンバー壁を開けて大気圧プラズマノズルを挿入し、大気圧プラズマ処理し、接合させるものである。なお、場合によっては加熱により強度アップさせるようにしてもよい。

[0159] 本実施形態における装置構成は、基本的に図1と同じであるため、重複した説明は省略する。なお第1実施形態の説明と相違するのは、チャンバー壁を開けた時に、大気圧プラズマノズルを挿入して上下のウエハーに大気圧プラズマ処理することができる点である。また、効率化のため、ノズルを上下2つ設けて同時に上下の処理を行えるようにしてもよい。

[0160] 本実施形態処理手順について図13を参照して説明すると、まず図13(a)のようにチャンバー壁3が上昇した状態で上ウエハー7を上部電極6に保持させる。保持させる方法はメカニカルなチャッキング方式もあるが、静電チャック方式が望ましい。

[0161] 続いて、下ウエハー8を下部電極9に保持させる。そして、図13(b)に示すように、チャンバー壁3を下降させ、チャンバー台10に固定パッキン5を介して接地させる。チャンバー壁3は摺動パッキン4により大気と遮断されているので、吸入バルブ13を

閉止した状態で排出バルブ14を空け、真空ポンプ15により真空引きを行うことでチャンバー内の真空度を高めることができる。

- [0162] 次に、図13(c)に示すように、チャンバー内を反応ガスで満たす。真空ポンプ15は動作させながら排出バルブ14の排出量と吸入バルブ13でのガス吸入量をコントロールすることで一定の真空度に保ちながら反応ガスで満たすことが可能である。同図(d), (e)に示すように、本方式では、まず酸素ガスを充満させ、 10^{-2} Torr程度の真空度で下部電極9に交番電源プラズマ電圧を印加することでプラズマを発生させ、下部ウエハー8表面を酸素プラズマにより物理処理する。続いて、上部電極6に同様な交番電源を印加することで上部ウエハー7を酸素プラズマにより物理処理する。
- [0163] 次に、図13(f)に示すように、チャンバー壁を開けて、大気圧プラズマノズル29を挿入して上下のウエハーに大気圧プラズマにより化学処理する。その後場合によっては、水分を含んだガスを供給し、表面を親水化処理する。続いて、同図(g)に示すように、チャンバー壁を閉めて減圧し、同図(h)に示すように、真空中でチャンバー壁3と摺動パッキン4で接しながらピストン型ヘッド2がZ軸1により下降され、両ウエハーを真空中で接触させ、水素結合力により接合させる。
- [0164] チャンバー内はチャンバー壁3とピストン型ヘッド2との間の摺動パッキン4により外部雰囲気と遮断され、真空に保持された状態でピストン型ヘッド部が下降することができる。また、場合によっては同時に両電極に仕込まれたヒータにより100℃から200℃に加熱し、強度アップを行う。その後、図13(i)に示すようにチャンバー内に大気を供給し大気圧に戻して、ヘッド部を上昇させ、接合された両ウエハーを取り出す。
- [0165] なお、場合によっては、接合に際し両ウエハーの位置をアライメントした後、接合してもよい。真空引きする前のアライメントは、図3に示すように行う。
- [0166] 図3に示すように、上ウエハー7にはアライメント用の上マーク23が2箇所につけられ、下ウエハー8にはアライメント用の下マーク24が同様な位置2箇所に付けられている。両ウエハーの間に2視野認識手段25を挿入し、上下のマーク位置を認識手段で読み取る。2視野認識手段25は上下のマーク像をプリズム26により分岐し、上マーク認識手段27と下マーク認識手段28に分離して読み取る。2視野認識手段25はXY軸と場合によってはZ軸を持ったテーブルで移動され、任意の位置のマークを読

み取ることができる。その後、アライメントテーブル20により下ウエハー8の位置を上ウエハー7の位置に補正移動させる。移動後、再度2視野認識手段25を挿入して繰り返して補正し、精度を上げることも可能である。

- [0167] また、真空引きした後の接合する前にでもアライメントできる。図4に示すように、上ウエハー7にはアライメント用の上マーク23が2箇所につけられ、下ウエハー8にはアライメント用の下マーク24が2箇所につけられている。上下マークは重なっても同視野で認識できるような形状となっている。プラズマ処理後の両ウエハーを近接させ、マーク読みとり用透過部19とガラス窓21を透過してIR認識手段22により下ウエハーを透過して金属でつけられた上下のアライメントマークを同時に認識して位置を読み取る。焦点深度が合わない場合は、IR認識手段22を上下移動させて読み取る場合もある。IR認識手段22はXY軸と場合によってはZ軸を持ったテーブルで移動され任意の位置のマークを読み取ることができるようにしてもよい。その後、アライメントテーブル20により下ウエハー8の位置を上ウエハー7の位置に補正移動させる。移動後、再度IR認識手段22により繰り返して補正し、精度を上げることも可能である。

- [0168] 大気圧プラズマ処理後、 H_2O またはH、OH基を含むガスに置換した後に接合する方法として、水分を含有したガスが容易であるが、 H_2O 分子ビーム、水素ガスなども用いることができる。

- [0169] 減圧プラズマ処理する方法として交番電極面のウエハーを処理するのが効率上好ましいが、均一性やダメージ軽減から電極をウエハー以外の場所に設置しウエハーを処理する場合もある。

- [0170] また、プラズマ処理により表面活性化して接合させるため、図14に示すように接合時の加熱温度を従来のSi同士を400℃以上加熱して接合する方法から200℃以下に落とすことが可能となる。また、錫鉛ハンダの熔融温度である183℃以下である180℃以下で固層接合することができる。また、100℃以下、また常温でも可能でありより好ましい。

- [0171] また、被接合物の少なくとも一方がSi、 SiO_2 、ガラス、セラミックである場合には酸素プラズマで処理した場合は、接合表面を親水化処理し、水素結合により接合した後、200℃程度の低温で1時間程度加熱することで水分子を放出させ、強固な共晶結合

へと変換させることができる。また、図2(g)に示すように、500V程度の高電圧を、両被接合物間を接触させた状態で印加することで水分子を効率良く除去することができる。

- [0172] また、上記方法では低温で接合できるので、熱に弱い半導体や熱ひずみを嫌うMEMSデバイスには好ましい。また、低温での接合が可能となり、イオン注入後、高温加熱するとイオンが抜けてしまうため、熱に弱い半導体デバイスには好適な方法である。

産業上の利用可能性

- [0173] なお、本発明は上記形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない限りにおいて上述したものに対して種々の変更を加えることが可能であり、ウエハーなどの複数の被接合物の接合に広く適用することができ、特にMEMSデバイスに好適である。

請求の範囲

- [1] 被接合物同士の接合面をプラズマにて親水化处理して500℃以内に固層で接合する接合方法において、
両被接合物を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるイオン衝突力の強いエネルギー波により物理処理する物理処理工程の後、イオン衝突力の弱いプラズマにて化学処理する化学処理工程を行い、両被接合物を接合する接合方法。
- [2] 前記物理処理工程のエネルギー波照射手段がプラズマである請求項1に記載の接合方法。
- [3] 前記化学処理工程の反応ガスが酸素または窒素である請求項1または2に記載の接合方法。
- [4] 前記物理処理工程の後、さらに真空引きした後、前記化学処理工程を行う請求項1〜3のいずれかに記載の接合方法。
- [5] 化学処理時または処理後、 H_2O またはH、OH基を含むガスを混入させた後、接合する請求項1〜4のいずれかに記載の接合方法。
- [6] 前記物理処理工程の反応ガスが化学処理工程と異なるガスであり、Arまたは CF_4 である請求項1〜5のいずれかに記載の接合方法。
- [7] 前記物理処理工程と前記化学処理工程を大気に暴露することなく行う請求項1〜6のいずれかに記載の接合方法。
- [8] イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段を備え、プラズマ処理後半においてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進する請求項2〜5のいずれかに記載の接合方法。
- [9] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、プラズマ電極を被接合物保持電極と対向面電極の2箇所に切り替え可能に配置したものからなり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行い、次いで対向面電極側に電源を印加してイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法。
- [10] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、Vdcが調整可能であるRFプラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてVdc値を変化

させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法。

- [11] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、パルス幅が調整可能であるパルス波プラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてパルス幅を変化させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法。
- [12] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、2つの減圧プラズマ照射手段を切り替える手段であり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行う第1のプラズマ照射手段と、プラズマ処理後半において別室で発生したプラズマをイオンをトラップしてラジカルを照射する第2のプラズマ照射手段に切り替えて、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法。
- [13] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマと大気圧プラズマを切り替える手段であり、被接合物表面を減圧プラズマにてイオン衝突力を高めて処理した後、大気圧プラズマにてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項8に記載の接合方法。
- [14] 前記反応ガスが酸素と窒素を含んだ混合ガスからなる請求項8～13のいずれかに記載の接合方法。
- [15] 前記プラズマ反応ガスが、酸素を含んだ反応ガスを用い、イオン衝突力を弱めたプラズマ処理時に窒素を含んだ反応ガスに切り替える請求項8～13のいずれかに記載の接合方法。
- [16] 前記接合時に両被接合物間に電圧を印加し、加熱下で固層で接合する請求項1～15のいずれかに記載の接合方法。
- [17] 被接合物の少なくとも一方がSi、SiO₂、ガラス、セラミックである請求項1～16のいずれかに記載の接合方法。
- [18] 被接合物がウエハーまたはウエハーから切り出されたチップである請求項1～17のいずれかに記載の接合方法。
- [19] 請求項1～18のいずれかに記載の接合方法で作られた半導体デバイスまたはME

MSデバイスなどのデバイス。

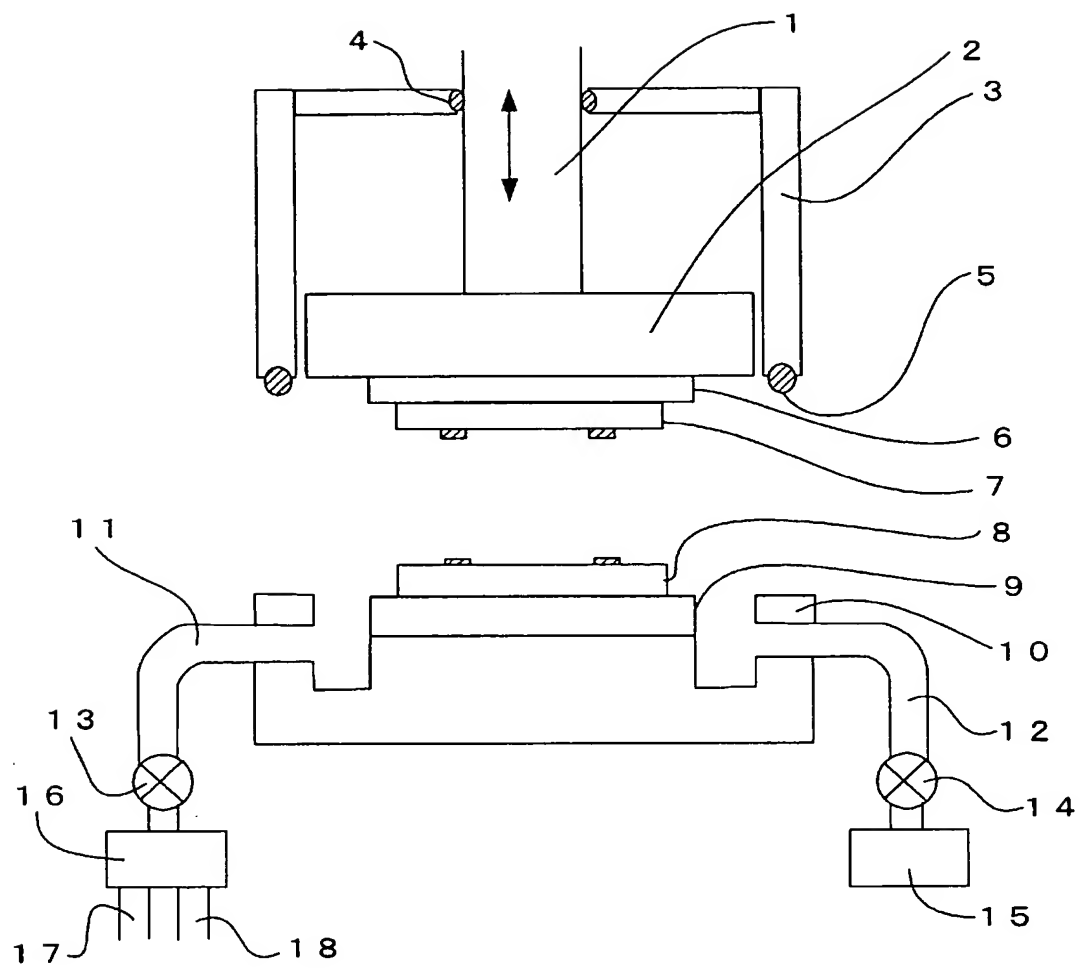
- [20] 被接合物同士の接合面をプラズマにて親水化处理して500℃以内に固層で接合するものにおいて、エネルギー波照射手段及び／またはプラズマ照射手段を備え、両被接合物を原子ビーム、イオンビームまたはプラズマであるイオン衝突力の強いエネルギー波により物理処理する物理処理工程の後、イオン衝突力の弱いプラズマにて化学処理する化学処理工程を行う表面活性化装置。
- [21] 前記物理処理工程のエネルギー波照射手段がプラズマである請求項20に記載の表面活性化装置。
- [22] 前記化学処理工程の反応ガスが酸素または窒素である請求項20または21に記載の表面活性化装置。
- [23] 前記物理処理工程の後、さらに真空引きした後、前記化学処理工程を行う請求項20～22のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [24] 水ガス発生手段を備え、化学処理時または処理後、 H_2O またはH、OH基を含むガスを混入させた後、接合する請求項20～23のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [25] 前記物理処理工程の反応ガスが化学処理工程と異なるガスであり、Arまたは CF_4 である請求項20～24のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [26] 前記物理処理工程と前記化学処理工程を大気に暴露することなく行う請求項20～25のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [27] イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段を備え、プラズマ処理後半においてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進する請求項21～24のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [28] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、プラズマ電極を被接合物保持電極と対向面電極の2箇所に取り替え可能に配置したものからなり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行い、次いで対向面電極側に電源を印加してイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項27に記載の表面活性化装置。
- [29] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、Vdcが調整可能であるRFプラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてVdc値を変化

させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項27に記載の表面活性化装置。

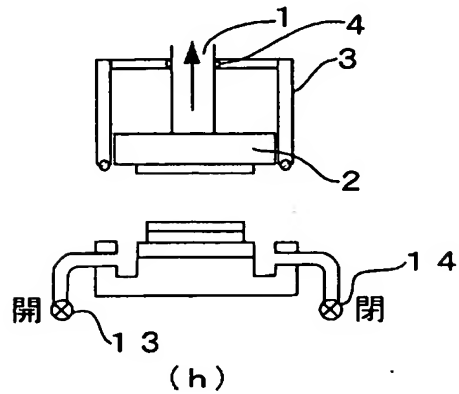
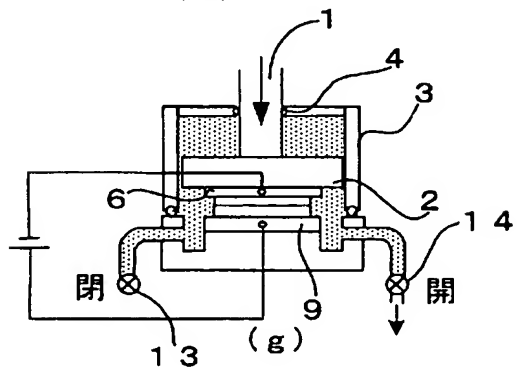
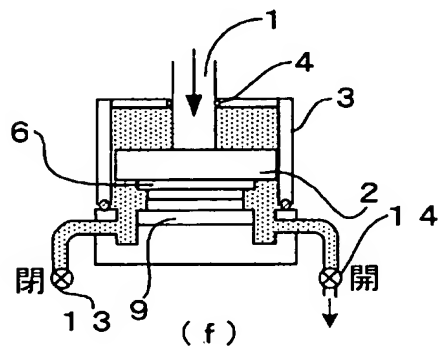
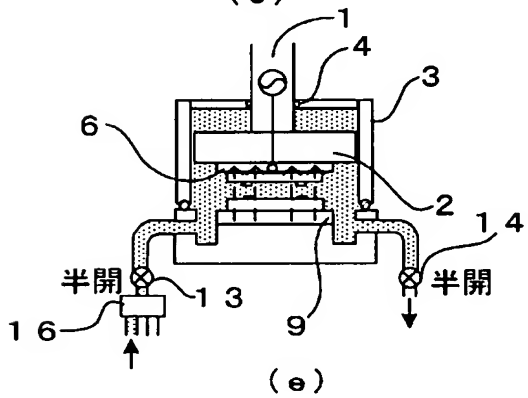
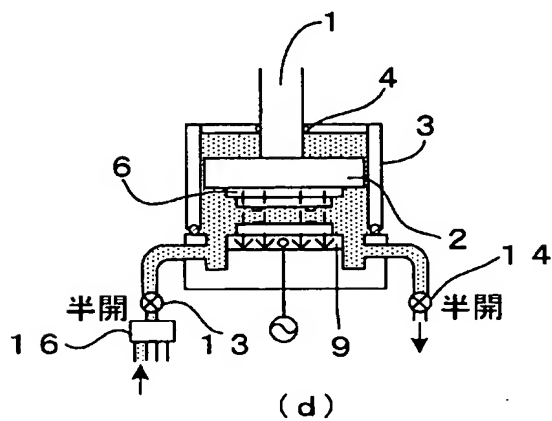
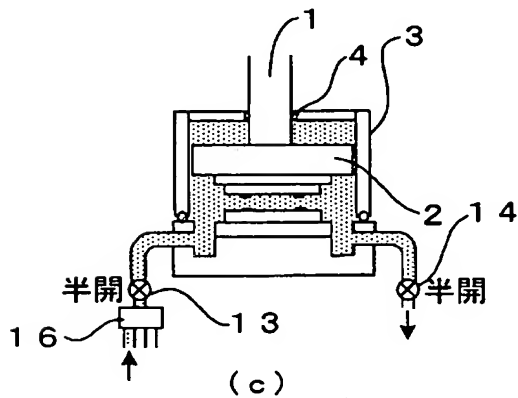
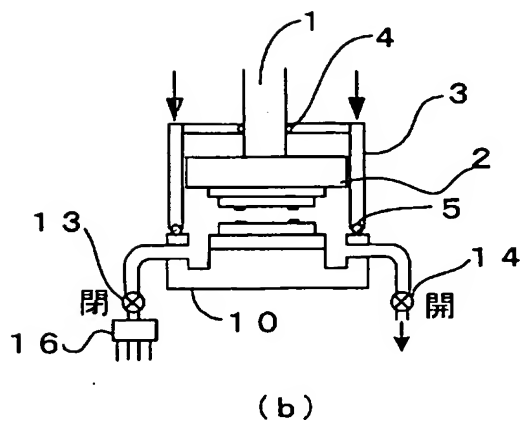
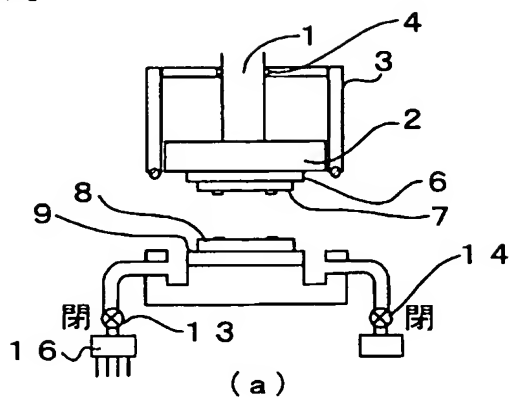
- [30] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマであり、パルス幅が調整可能であるパルス波プラズマ電源からなり、プラズマ処理後半においてパルス幅を変化させ、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項27に記載の表面活性化装置。
- [31] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、2つの減圧プラズマ照射手段を切り替える手段であり、被接合物保持電極側に電源を印加してプラズマ処理を行う第1のプラズマ照射手段と、プラズマ処理後半において別室で発生したプラズマをイオンをトラップしてラジカルを照射する第2のプラズマ照射手段に切り替えて、イオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項27に記載の表面活性化装置。
- [32] 前記イオン衝突力を切り替えるプラズマ処理手段が、減圧プラズマと大気圧プラズマを切り替える手段であり、被接合物表面を減圧プラズマにてイオン衝突力を高めて処理した後、大気圧プラズマにてイオン衝突力を弱め、化学処理を促進するプラズマ処理を行う請求項27に記載の表面活性化装置。
- [33] 前記反応ガスが酸素と窒素を含んだ混合ガスからなる請求項26〜32のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [34] 前記プラズマ反応ガスが、酸素を含んだ反応ガスを用い、イオン衝突力を弱めたプラズマ処理時に窒素を含んだ反応ガスに切り替える請求項26〜32のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [35] 前記接合時に両被接合物間に電圧を印加し、加熱下で固層で接合する請求項20〜34のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [36] 被接合物の少なくとも一方がSi、SiO₂、ガラス、セラミックである請求項20〜35のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [37] 被接合物がウェハーまたはウェハーから切り出されたチップである請求項20〜36のいずれかに記載の表面活性化装置。
- [38] 請求項20〜37のいずれかに記載の表面活性化装置を備え、前記プラズマ親水化

処理から接合までを一括して行う接合装置。

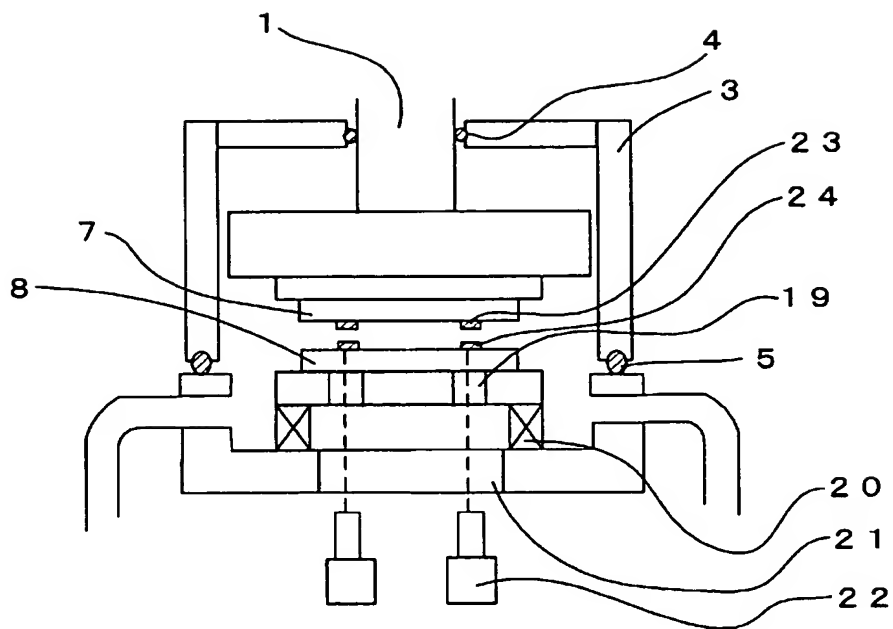
[図1]



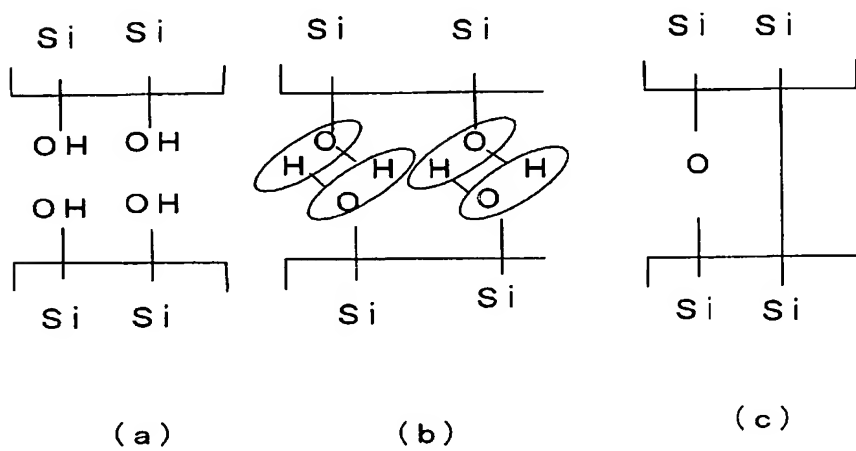
[図2]



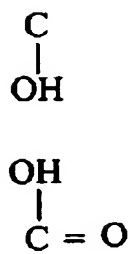
[図4]



[図5]



[図6]



(a)

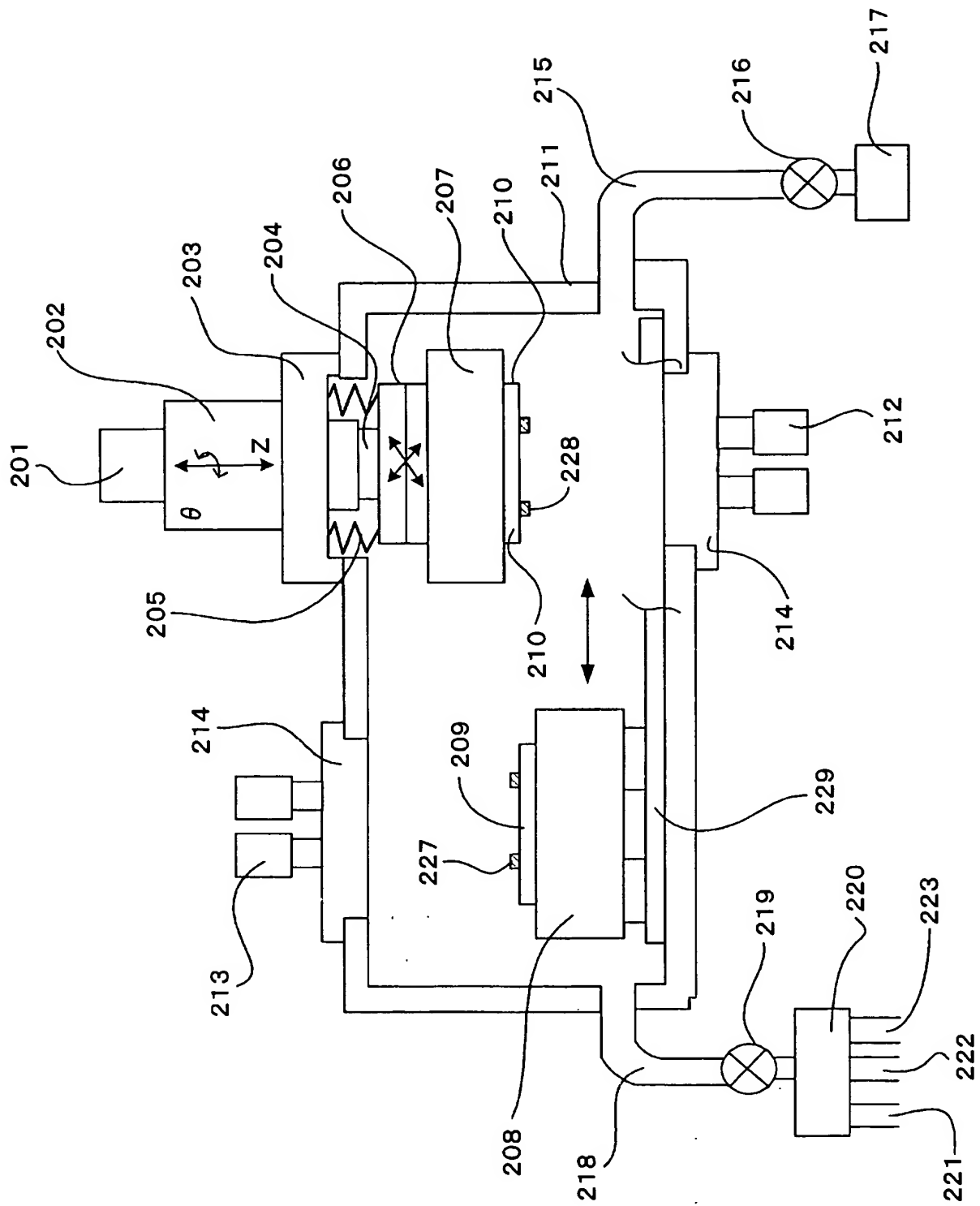


(b)

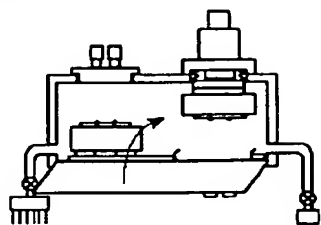


(c)

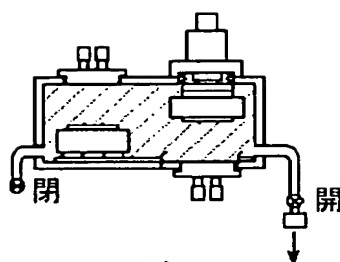
[図7]



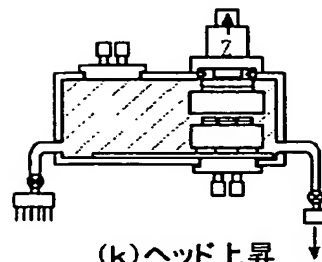
[図8]



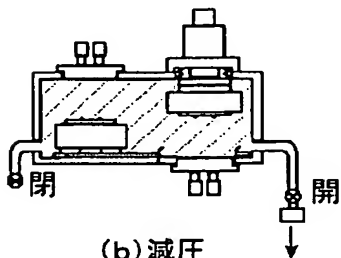
(a) 上下ワークセット



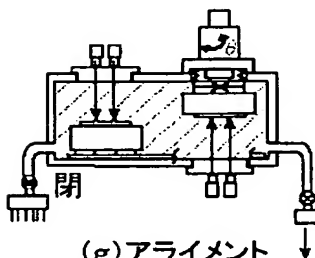
(f) 減圧



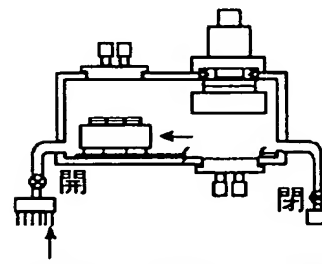
(k) ヘッド上昇



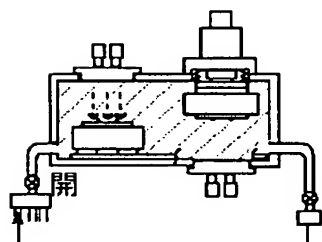
(b) 減圧



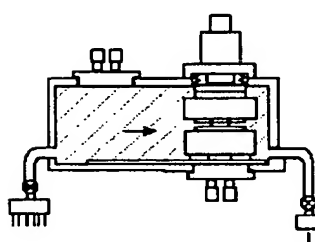
(g) アライメント



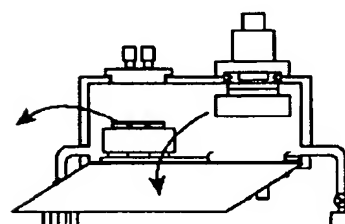
(l) ステージ戻す・大気開放



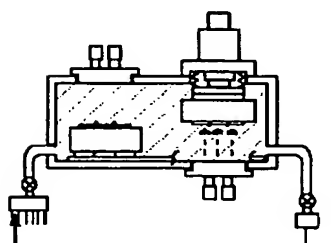
(c) 下ワークプラズマ処理



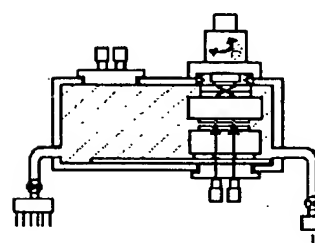
(h) ステージスライド



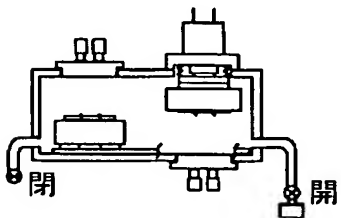
(m) ワーク取出



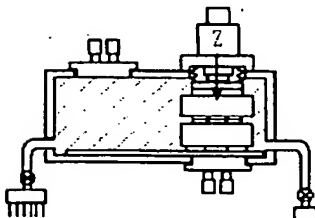
(d) 上ワークプラズマ処理



(i) ファインアライメント

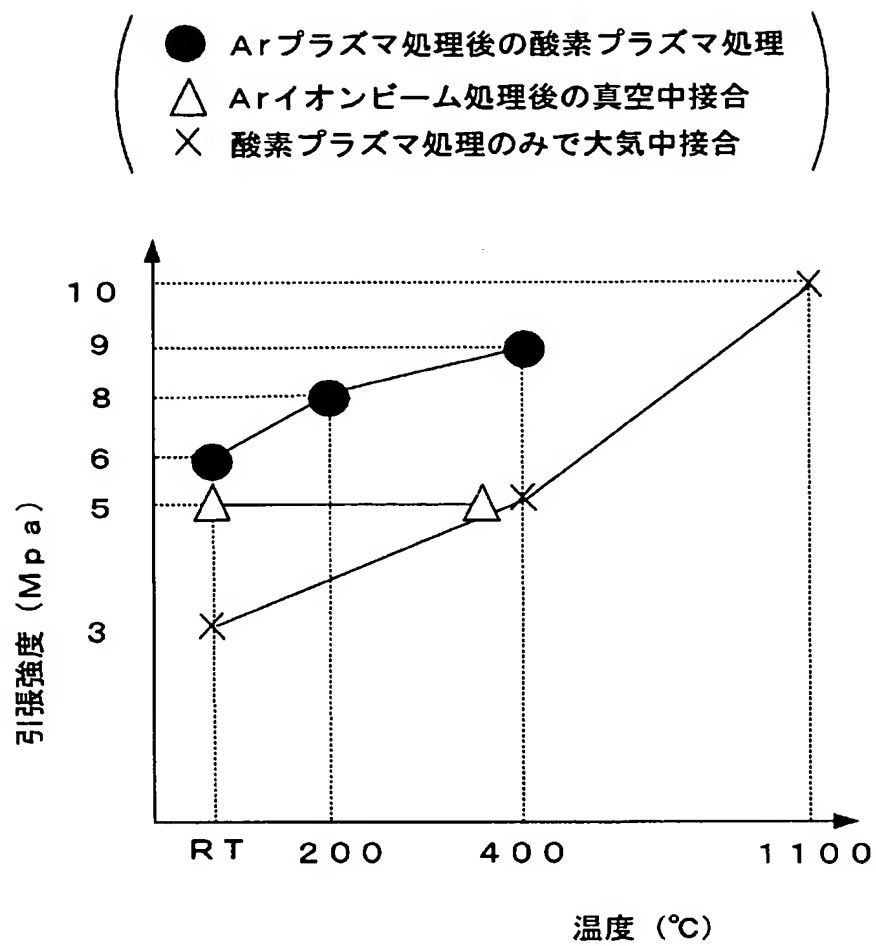


(e) 親水化処理(大気暴露)

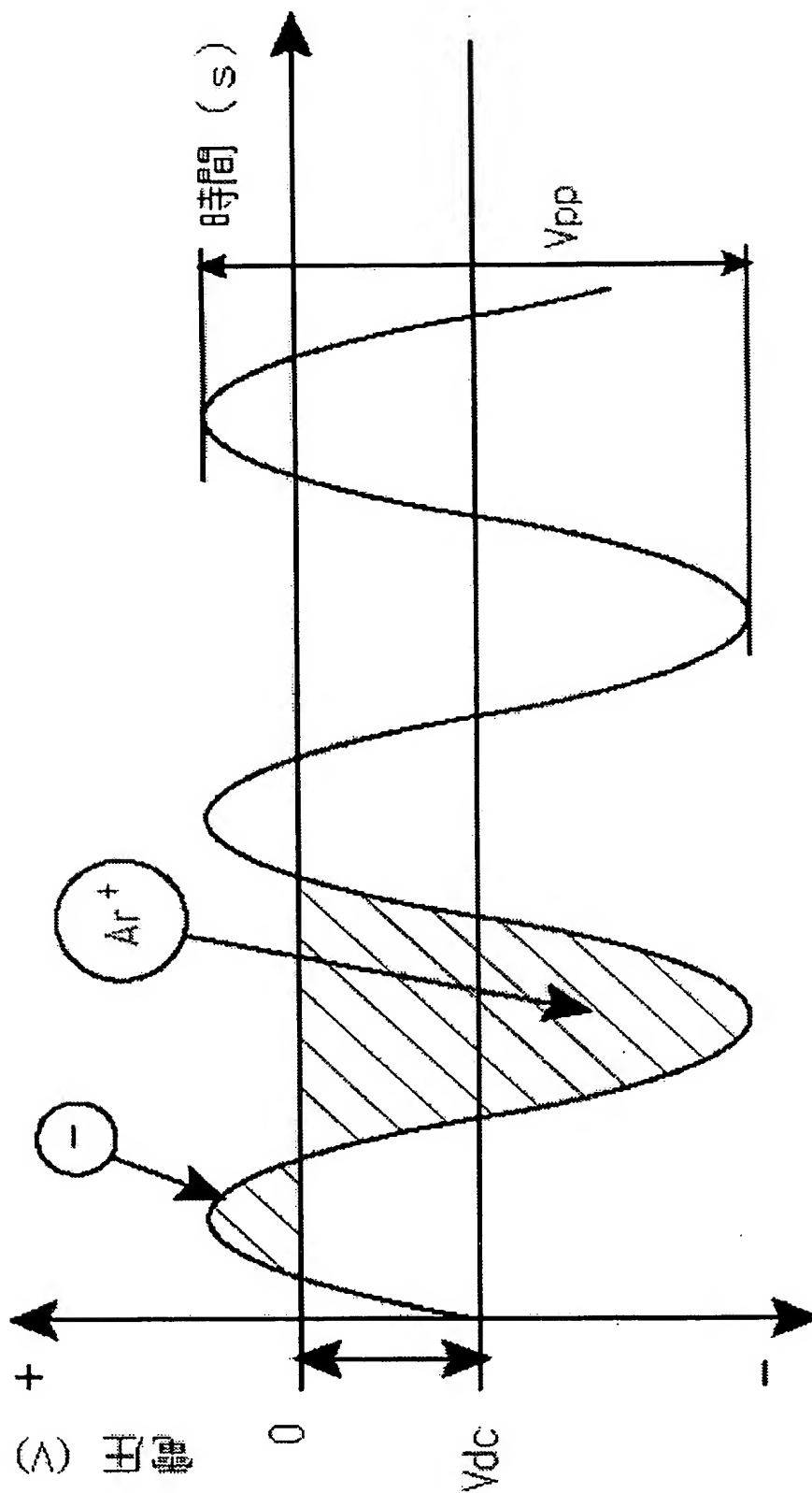


(j) 接合

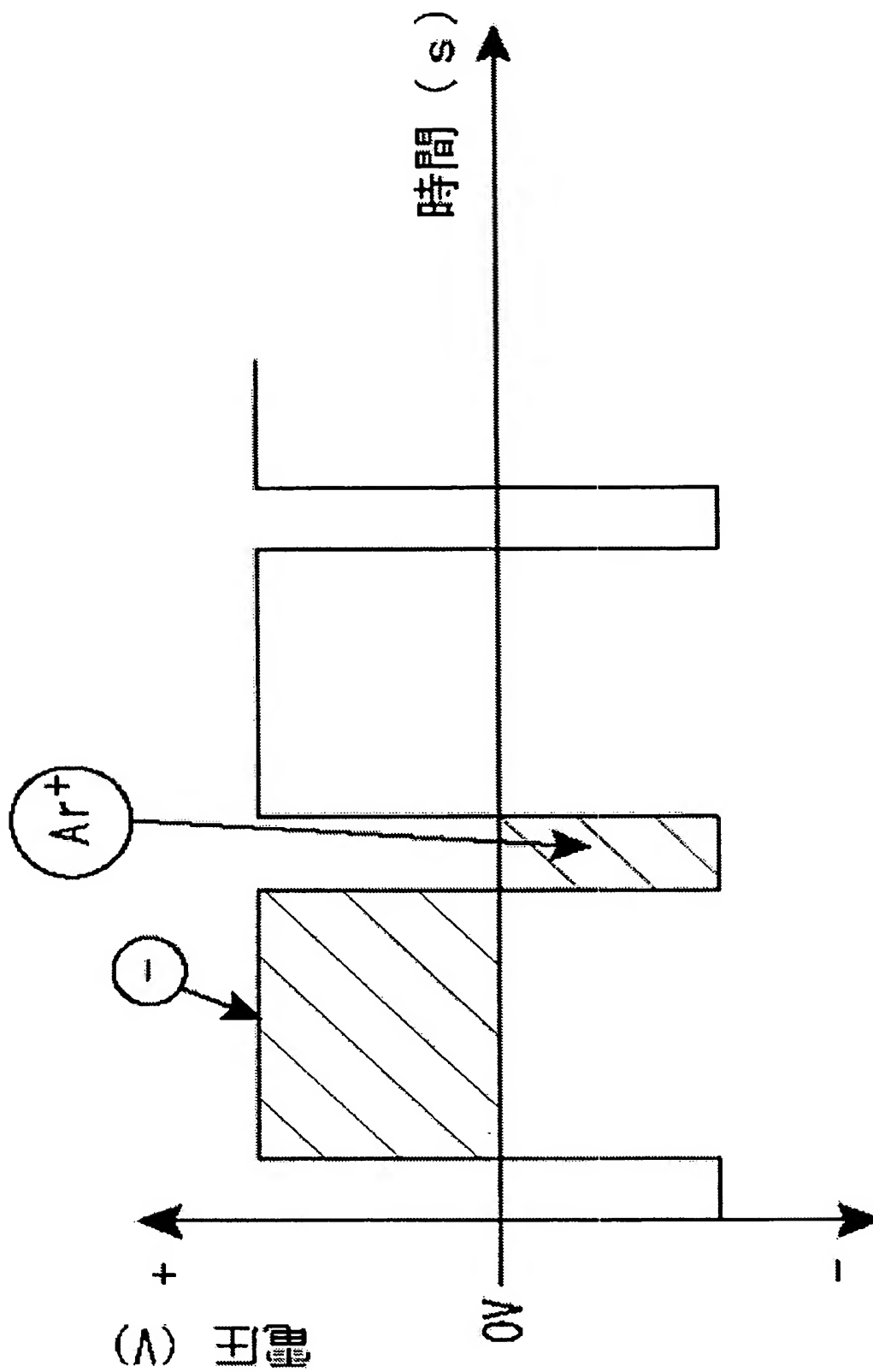
[図9]



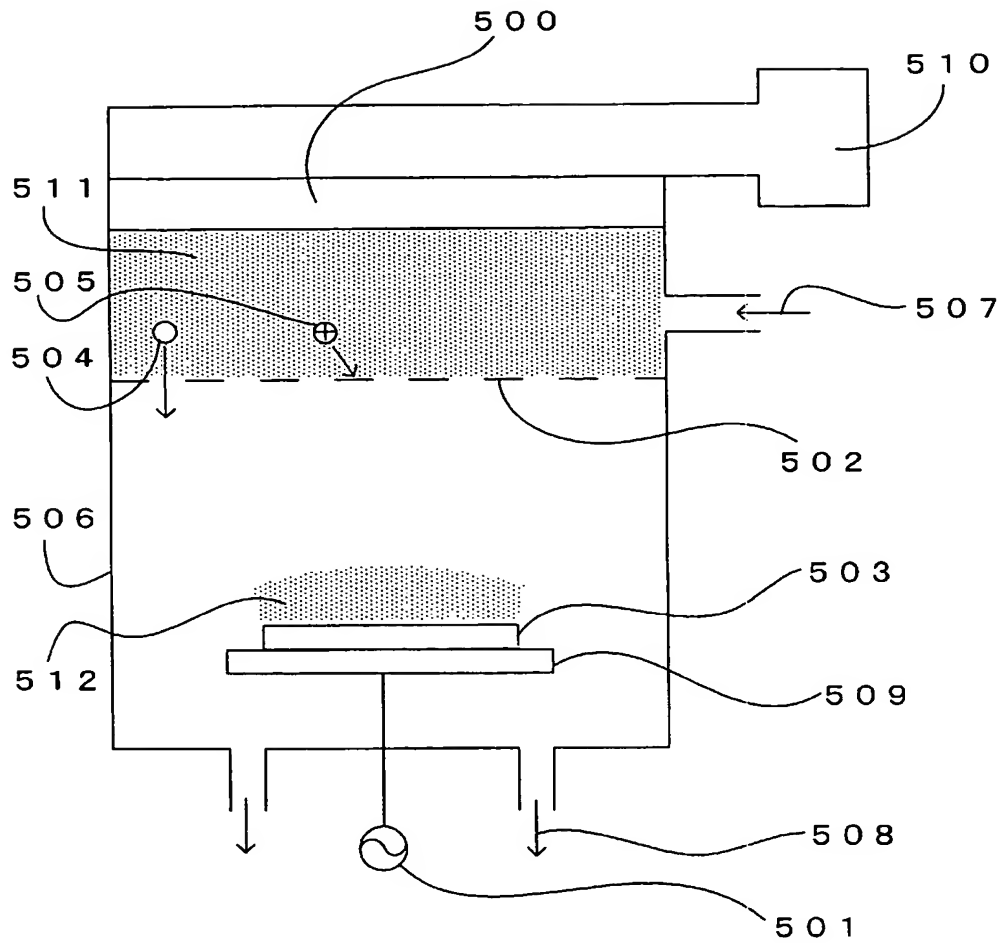
[図10]



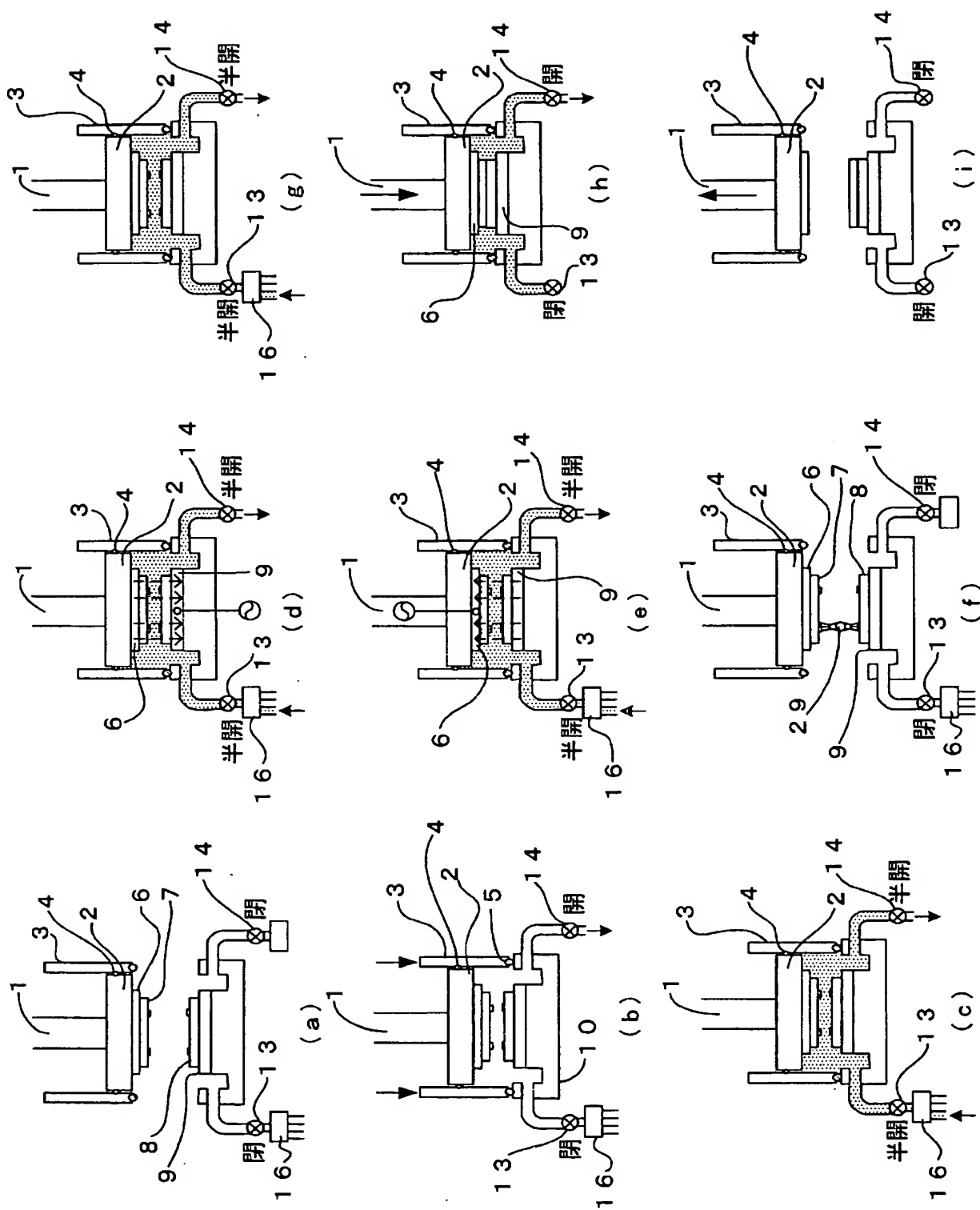
[図11]



[図12]

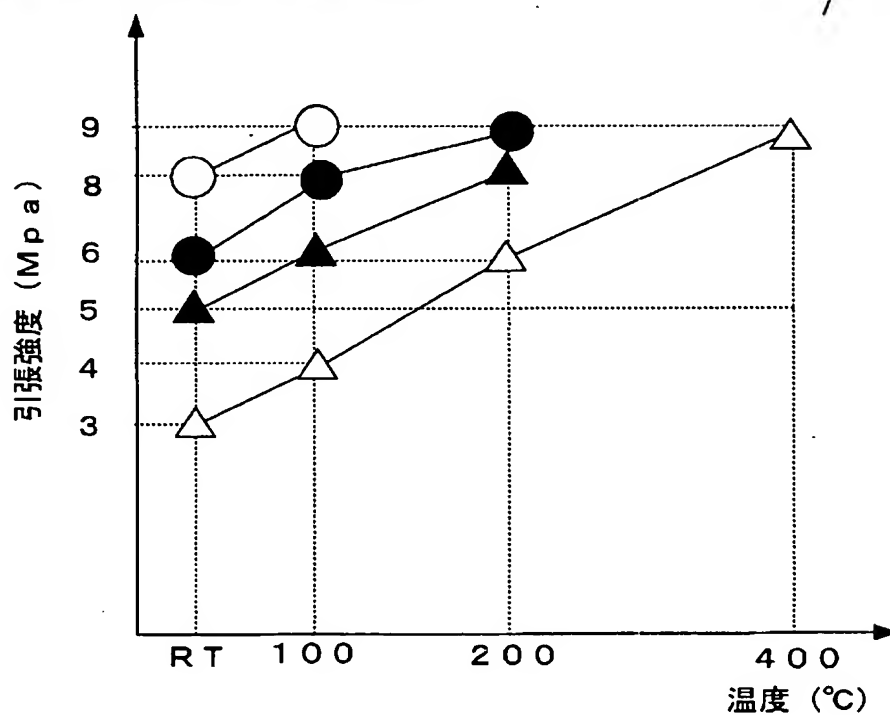


[図13]



[図14]

- エッチング力切替プラズマ処理（酸素・窒素混合ガス）
● エッチング力切替プラズマ処理（酸素ガス）
▲ Arエッチング後酸素プラズマ処理
△ 通常プラズマ処理（酸素ガス）



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017934

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/02, H01L27/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/02, H01L27/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

| | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2005 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2005 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2005 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-------------------------------------|
| X | JP 6-302486 A (Nippondenso Co., Ltd.), 28 October, 1994 (28.10.94), Full text; Figs. 1 to 10 & US 5421953 A Full text; Figs. 1 to 9 (Family: none) | 1-8, 16-27, 35-38 9-15, 28-34 |
| A | JP 5-82404 A (Nippondenso Co., Ltd.), 21 April, 1993 (21.04.93), Full text; Figs. 1 to 11 (Family: none) | 1-38 |
| A | JP 3-91227 A (Nippon Soken, Inc.), 16 April, 1991 (16.04.91), Full text; Figs. 1 to 7 & US 5383993 A Full text; Figs. 1 to 9 | 1-38 |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
21 February, 2005 (21.02.05)

Date of mailing of the international search report
08 March, 2005 (08.03.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/02, H01L27/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/02, H01L27/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

| | |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2005年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2005年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2005年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|---|----------------------|
| X | J P 6-302486 A (日本電装株式会社) 1994. 10. 28, 全文, 第1-10図& | 1-8, 16-27, 35-38 |
| A | US 5421953 A, 全文, 第1-9図 | 9-15, 28-34 |
| A | J P 5-82404 A (日本電装株式会社) 1993. 4. 21, 全文, 第1-11図, (ファミリーなし) | 1-38 |
| A | J P 3-91227 A (株式会社日本自動車部品総合研究所) 1991. 04. 16, 全文, 第1-7図& US 5383993 A, 全文, 第1-9図 | 1-38 |

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21. 02. 2005

国際調査報告の発送日

08. 3. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

大嶋 洋一

4 L 9170

電話番号 03-3581-1101 内線 6764